

# VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM FIBRA DE SISAL E PÓ DE MADEIRA COMO MATERIAIS RENOVÁVEIS

W. R. EL BANNA<sup>1</sup>, D. S. da COSTA<sup>1</sup>, L. M. G. BAIA<sup>1</sup> e J. A. S. SOUZA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: wassim\_eng04@yahoo.com.br

**RESUMO** – A utilização de materiais reforçados a fim de obter propriedades mecânicas peculiares é uma prática muito antiga, onde existem evidências bibliográficas que descrevem o uso de tijolos fabricados a partir de argila reforçada com palha desde o Egito Antigo. Porém, os impactos ambientais gerados durante todas as etapas da vida útil de um produto (concepção, fabricação, utilização e fim de vida) são os maiores problemas encontrados por diversos pesquisadores. Os materiais utilizados para fabricação dos compósitos poliméricos híbridos foram às fibras de sisal, adquiridas no comércio de Belém; o pó de madeira, como é um resíduo das madeiras foi obtido em uma delas; e uma matriz de resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada. Na fabricação dos compósitos híbridos foram utilizadas resina combinada com fibras de sisal com comprimentos de 15 mm e fração mássica de 3,90% e partículas de pó de madeira com fração mássica de 12,50%. Os resultados obtidos na fabricação deste compósito quanto a resistência mecânica foi de 22,83 MPa, e as superfícies de fratura apresentaram mecanismos de falhas predominantes nos compósitos, como por exemplo, rompimentos de fibra e alguns pull-out. Os resultados obtidos foram comparados com outros compósitos fabricados utilizando principalmente materiais sintéticos como reforços, com o intuito de comprovar a viabilidade da utilização de materiais naturais.

## 1. INTRODUÇÃO

Materiais compósitos são constituídos de duas fases distintas, a fase dispersa, também chamada de reforço, e a matriz. A combinação desses dois componentes produz um material com propriedades diferentes das apresentadas pelos componentes individualmente. Estas propriedades variam dependendo das combinações dos dois componentes, do tipo de matriz, do tipo e forma do reforço, e do método de processamento aplicado (Pigatto, 2009).

A matriz proporciona a forma final do compósito e governa os parâmetros do processo de manufatura. Além disso, é responsável pela transferência e distribuição da tensão ao reforço, pela separação das partículas das fibras (reforço) funcionando como uma barreira à propagação de trincas, e pela proteção do material do reforço contra danos ambientais (umidade, radiação, UV, corrosão química) (Pigatto, 2009).

As fibras vegetais têm sido investigadas para uso como reforço em compósitos de matrizes poliméricas, pois aliam propriedades que levam em consideração aspectos que vão de encontro a esta nova ordem mundial, de forte apelo ecológico, e características como baixo custo, baixa densidade, fonte renovável, biodegradabilidade, o fato de serem atóxicas e não abrasivas, possuem boas propriedades térmicas e alto módulo específico o que as tornam fortes candidatas em potencial para estas aplicações (Agarwal, 1980).

Dentre as fibras vegetais, o uso do sisal é particularmente interessante já que seus compósitos possuem elevada resistência ao impacto além de moderada à tração e em flexão quando comparados a compósitos reforçados por outras fibras vegetais. O sisal é uma das fibras vegetais mais extensamente utilizadas e é responsável por metade da produção total de fibras têxteis.

As vantagens do uso de cargas naturais sobre as cargas sintéticas no reforço de compósitos são: biodegradabilidade, baixo custo, baixa densidade, boa tenacidade, boas propriedades térmicas, baixo conteúdo energético e uso reduzido de instrumentos para o seu tratamento ou processamento. As cargas vegetais, por serem compostas principalmente de celulose, são também chamadas de cargas celulósicas ou lignocelulósicas, sendo abundantes e disponíveis em todo mundo (Savastrano Jr, 2000).

O eco compósito surge quando os materiais componentes de um compósito (fibras ou pó e matriz) respeitam as metas ambientais, sendo tanto de origem vegetal, derivados de fontes renováveis, devendo ser atóxicos e abundantes e podendo ser ou não biodegradáveis como pode ser também originário do aproveitamento de resíduos agroindustriais, florestais ou ainda de outros tipos de resíduos tais como escória mineral e plásticos reciclados, aumentando ainda mais a sua eco eficiência (Teixeira 2005).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Materiais**

A matriz empregada foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada na relação agente de cura/resina, na proporção de 0,33% (v/v). A resina foi adquirida já pré-acelerada com naftenato de cobalto (CoNap) na proporção de 0,15% em massa. O pó de madeira é proveniente do corte de angelim, sendo ele adquirido em uma serraria da região. A figura 1 mostra os materiais utilizados na confecção dos corpos de prova.

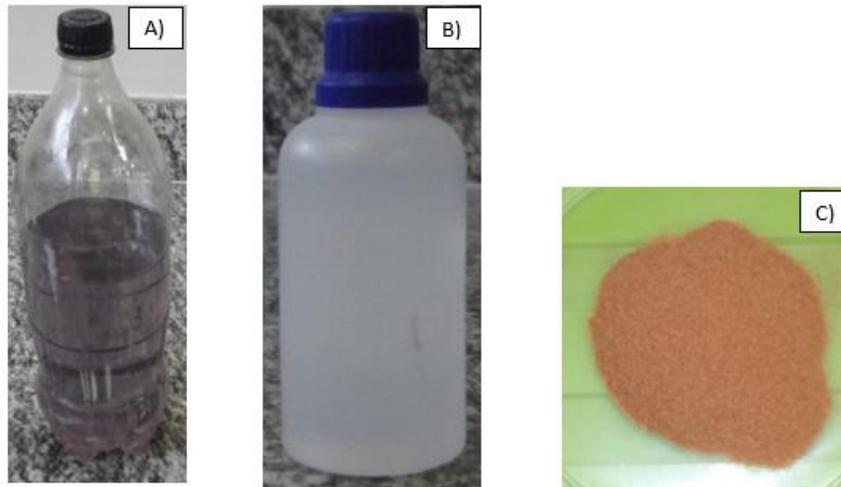


Figura 1 – Materiais utilizados na confecção dos corpos de prova: a) resina poliéster; b) catalisador na proporção de 0,33% (v/v); c) pó de madeira.

## 2.2. Métodos

Os materiais foram pesados em ambiente ideal, usando um a Balança Semi-Analítica modelo BL3200H, balança esta que permite pesar até 3200 gramas e possui precisão de 0,01 grama. Para fabricar os compósitos, foram produzidos moldes em silicone objetivando comportar 4 (quatro) lacunas para vazamento do compósito. Tais lacunas foram superdimensionadas para que após a solidificação, o corpo de prova pudesse ser lixado sem comprometer as dimensões descritas na norma ASTM D 638 que legisla acerca do ensaio de tração. A escolha do silicone para produção dos moldes deve-se ao fato de ele manter uma consistência conformável quando solicitado mecanicamente, facilitando assim o desmolde.

O processo de fabricação dos corpos de prova deu-se com a pesagem individual das partes de acordo com o tabela 1. O processo de cura da resina foi acelerado através do uso de catalisador em uma proporção de 0,33% em massa.

Tabela 1 – Quantidade mássica de material

	Resina + Catalisador	Quantidade de particulado	Sisal 15 mm
Pó de madeira	61,65g ou 87,15%	7,71g ou 12,5%	2,40g ou 3,90%

Os corpos de prova foram fabricados manualmente, homogeneizando a mistura de resina e fibra em um Becker por 5 minutos e vazando-a nos moldes. Moldes de silicone com dimensões superestimadas para que após a cura o corpo de prova pudesse ser lixado sem que isso diminuísse as dimensões do corpo de prova para medida abaixo do estipulado pela norma ASTM D 638M. A Figura 16 mostra um desses moldes durante o período de cura. A figura 2 mostra um desses moldes durante o período de cura.



Figura 2 – Molde e corpos de prova.

Após 7 dias de cura, os corpos de prova foram então desmoldados e identificados, visando evitar uma confusão de corpos de prova. Nesse momento, os corpos de prova apresentam superfícies irregulares. É sabido que o corpo de prova precisa ser lixado visando a homogeneização do corpo de prova e atingir exatamente as dimensões estabelecidas pela norma ASTM D 638. Realizado o processo de lixamento supracitado, os corpos de prova precisam possuir as dimensões mostradas na figura 3.

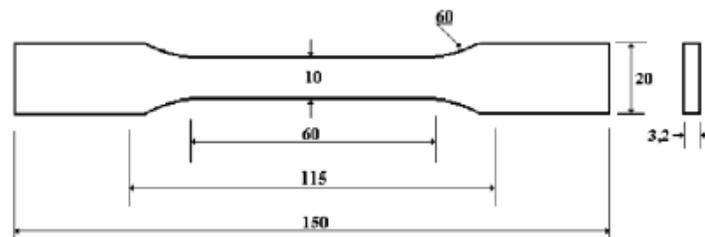


Figura 3 – Dimensões do corpo de prova depois de lixados.

A máquina utilizada no ensaio de tração foi a KRATOS COF modelo MKCA-KE, com uma carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5mm/min, conectada a um sistema computacional para determinação do comportamento mecânico dos corpos de prova, localizada no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade Federal do Pará (Labem), conforme figura 4.



Figura 4 – Máquina universal de ensaio de tração.

Após ensaiados, a superfície de fratura dos corpos de prova foi submetida à uma análise através de microscopia estereoscópica. Tal análise buscou teorizar possíveis causas da ruptura ocorrida bem como potenciais maneiras para aumentar a resistência do referido material. A figura 5 exibe o microscópio eletrônico de varredura empregado na captura das imagens.



Figura 5 – Microscópio eletrônico de varredura.

Através do tipo de imagem acima apresentado, será possível dar possíveis causas do comportamento do compósito e o que poderia ser feito para melhorar as características mecânicas do mesmo. A microscopia eletrônica de varredura permite visualizar o arranchamento de fibras ou a sua ruptura, a existência ou não de vacâncias, bem como a concentração de fibra em determinados pontos do compósito.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para este ensaio de tração foram confeccionados e ensaiados um total 30 corpos de prova e os resultados médios obtidos são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do pó de madeira e fibra de sisal.

Tipo de amostra	Carga máxima média	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mm)
Pó de madeira/fibra de sisal 15 mm	730,61 ( $\pm 79,50$ )	22,83 ( $\pm 2,48$ )	6,55 ( $\pm 0,40$ )

Analisando-se os dados obtidos nos compósitos híbridos de matriz poliéster reforçados com pó de madeira e fibra de sisal, nota-se primeiramente que os compósitos com comprimento de fibra maior obtêm-se os melhores resultados, seja no referente à carga máxima média quanto à resistência à tração. Com isso os compósitos híbridos reforçados com fibras de 15 mm apresentaram melhores valores de resistência à tração de 22,83 MPa.

A Figura 6 mostra uma avaliação das superfícies de fratura, dos compósitos híbridos de matriz poliéster reforçados com pó de madeira e fibras de sisal com 15 mm de comprimento através da

microscopia eletrônica de varredura.

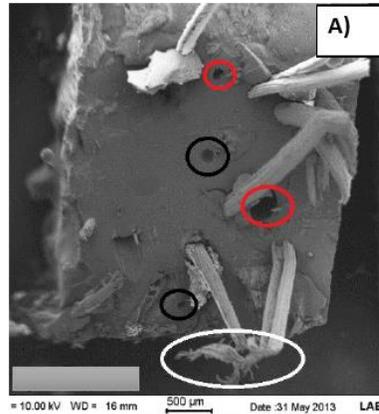


Figura 6 - Análise por microscopia eletrônica de varredura dos corpos de prova de pó de madeira e fibra de sisal: a) 15 mm

Percebe-se na figura 6 a superfície de fratura dos compósitos híbridos reforçados com pó de madeira e fibra de sisal de 15 mm, que mostra a presença de alguns mecanismos de falha predominantes, como o “pull-out” (círculo vermelho) e bolhas (círculo preto), porém tem-se a predominância da presença de fibras rompidas (círculo branco) onde mostra uma melhor aderência entre a resina e a fibra, favorecendo a transferência de carga da resina para a fibra após a fratura da primeira.

Com a finalidade de comparar os resultados obtidos com outros compósitos reforçados com outras fibras naturais, tomou-se como objeto de estudo comparativo o compósito que apresentou melhor desempenho mecânico. Logo, a figura 7 estabelece uma comparação do compósito híbrido reforçado com fibras de sisal 15 mm e pó de madeira com fração mássica de 12,5% com outros compósitos híbridos reforçados com outras fibras e cargas.



Figura 7 – Gráfico comparativo compósito híbrido reforçado com fibras de sisal 15 mm e pó de madeira com fração mássica de 12,5% com outros compósitos híbridos reforçados com outras fibras e cargas.

A figura 7 mostra uma comparação dos compósitos estudados neste trabalho com outros compósitos híbridos reforçados por fibras e cargas (naturais e sintética) pesquisados por diversos autores. Nota-se que os compósitos híbridos poliméricos reforçados com fibras de 15 mm e pó de madeira com fração mássica de 12,5% apresentaram bons resultados quando comparados aos outros compósitos. Observa-se que eles foram 10% superiores em relação aos resultados encontrados nos compósitos híbridos reforçados com fibras de sisal de 15 mm e pó de açaí com fração mássica de 25% (Pinheiro, 2013). Eles foram também 8% superiores aos resultados encontrados por (Rodrigues, 2008). Em contrapartida, quando comparados com o compósito confeccionado por (Mendes, 2013) nota-se que não houve uma diferença relevante entre os dois trabalhos, porém, a adição de pó de madeira foi mais eficaz que a utilização de pó sintético como reforço de materiais compósitos.

### **3. CONCLUSÕES**

A logística de fabricação manual dos compósitos provou-se eficiente o bastante visto a finalidade à que se destinava. Pois esse tipo de fabricação apresenta baixo custo, fácil fabricação e resultados passíveis de padronização.

O comportamento dos materiais compósitos analisados apresentou um certo padrão: quanto maior o comprimento da fibra, melhores são as propriedades mecânicas do mesmo. Em decorrência disso, independentemente da carga empregada, os compósitos com fibras de 15 mm apresentaram os melhores resultados. Quanto maior o comprimento da fibra maior a ocorrência de alinhamento do reforço dentro do molde e conseqüente alinhamento no interior do compósito. O reforço estando alinhado com o carregamento maximiza a resistências à tração. Tal fato ocasiona também uma diminuição nos erros encontrados, já que o alinhamento das fibras é uma padronização e compósitos semelhantes tendem a apresentar características mecânicas igualmente semelhantes.

Na superfície fraturada o pó podia ser notado como um conjunto de rugosidade. O pó de madeira, devido em parte à sua diminuta granulometria conseguiu aderir adequadamente à matriz, formando uma superfície lisa mesma quando observado por microscópio. O pó de madeira apesar de não tornar a superfície rugosa, em seus pontos de maior concentração gerou uma fratura irregular e tendeu a facilitar a propagação da trinca.

### **4. REFERÊNCIAS**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D 638 – 89. “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)”. Annual Book of ASTM Standard, American Society for Testing and Materials.

MENDES, R. A.; SANTOS, H. C. M. Compósito polimérico reforçado com carga de aerossil, talco, pó de madeira e de açaí. Belém, 2013. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

PIGATTO, C. Polipropileno e blendas PP/EPDM reforçadas com fibras curtas de sisal. Porto Alegre, 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PINHEIRO, A. N. S. Características mecânicas e fractográfica de matriz poliéster com carga de pó de caroço de açaí reforçada com fibras de sisal. Belém, 2013. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

RODRIGUES, J. S. Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria Madeireira. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Materiais e processos de Fabricação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

SAVASTANO Jr, H. Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. USP - Escola Politécnica, 2000 – Tese de Livre Docência.

TEIXEIRA, Marcelo Geraldo. Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira. Salvador, 2005. 98f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) - Departamento de Engenharia Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2005.