



COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA

POLYMER COMPOSITES WITH SUGAR CANE BAGASSE FIBERS: INFLUENCE OF LENGTH ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Maria E. P. D. Lima^{1*}, Déborah J. C. D. Santos¹, Thamina I. R. Fernandes¹, Andreza K. B. Dias¹, Luis F. A. Brandão², Diego C. Estumano³, Emerson C. Rodrigues⁴ e Deibson S. Costa⁵

1 - Graduanda em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua, Ananindeua, PA, Brasil.

2 - Doutorando em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal do Pará. Belém, PA, Brasil.

3 - Prof. Dr. Vinculado à Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.

4 - Prof. Dr. Vinculado à Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.

5 - Prof. Dr. Vinculado à Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua, Ananindeua, PA, Brasil.

mariiaeduardapl23@gmail.com

RESUMO

As fibras de bagaço de cana-de-açúcar podem ser utilizadas na produção de compósitos poliméricos, oferecendo vantagens ambientais e financeiras. O objetivo deste trabalho foi fabricar e caracterizar compósitos com fibras da cana-de-açúcar para determinação de suas propriedades físicas e mecânicas. Foram produzidos compósitos poliméricos com a incorporação da fibra do bagaço de cana-de-açúcar, variando os comprimentos das fibras em 15 mm e 30 mm, e alternando a proporção das fibras em 0%, 1%, 2% e 3% em massa para cada série fabricada. As fibras foram submetidas a teste para determinar a massa específica usando picnometria. Realizaram-se os ensaios físicos de Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água e ensaio mecânico de tração. A massa específica das fibras foi de 0,658 g/cm³. Os compósitos mostraram menor massa específica aparente, maior porosidade e absorção de água que a matriz plena. Os testes de tração destacam o melhor desempenho no compósito com fibras de 15 mm e 3% de massa de fibras.

Palavras-chave: Materiais; Propriedades; Fibras.

ABSTRACT

Sugarcane bagasse fibers can be used in the production of polymer composites, offering environmental and financial advantages. The objective of this work was to manufacture and characterize composites with sugarcane fibers to determine their physical and mechanical properties. Polymeric composites were produced with the incorporation of sugarcane bagasse

fiber, varying the lengths of the fibers in 15 mm and 30 mm, and alternating the proportion of fibers in 0%, 1%, 2% and 3% by mass. for each series manufactured. The fibers were tested to determine the specific mass using pycnometry. Physical tests for Apparent Specific Mass, Apparent Porosity and Water Absorption and mechanical tensile test were carried out. The specific mass of the fibers was 0.658 g/cm³. The composites showed lower apparent specific mass, greater porosity and water absorption than the full matrix. Tensile tests highlight the best performance in the composite with 15 mm fibers and 3% fiber mass.

Keywords: Materials; Properties; Fibers.

INTRODUÇÃO

O Brasil produz diversas fibras naturais, mas muitas, como as do coco e da cana-de-açúcar, são frequentemente descartadas como resíduos agrícolas. O aproveitamento dessas fibras traria benefícios econômicos, sociais e educacionais, como exemplificado pelas fibras do pecíolo de miriti no Pará, que são usadas por artesãos e até como ferramentas de ensino na engenharia [1]. Em 2022, o Brasil se tornou líder global na produção e exportação de cana-de-açúcar, com mais de oito milhões de hectares cultivados e uma produção de mais de 480 milhões de toneladas. No entanto, é importante notar que o cultivo da cana-de-açúcar tem impactos ambientais e que o bagaço resultante do processamento é o maior resíduo agroindustrial do país [2].

Cientistas e engenheiros colaboram na criação de materiais compósitos para melhorar propriedades mecânicas. Esses materiais combinam metais, cerâmicas e polímeros. Os compósitos têm uma matriz contínua e uma fase dispersa, com suas propriedades dependentes das características das fases, proporções e geometria [3].

Em face disso, compósitos poliméricos com fibras do bagaço de cana-de-açúcar foram confeccionados para realizar as caracterizações físicas e mecânicas desses materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta um fluxograma geral do processo de fabricação e caracterização dos compósitos, desde a obtenção da matéria prima até os ensaios realizados para a obtenção dos



resultados.

Figura 1 - Fluxograma geral do processo.

Aquisição do bagaço da cana-de-açúcar:

O bagaço de cana-de-açúcar, que é o componente principal deste estudo, foi adquirido de um vendedor de caldo de cana-de-açúcar em uma feira movimentada na região metropolitana de Belém. Este vendedor utiliza uma moenda para processar a cana-de-açúcar, um processo que extrai o suco, o que resulta em um bagaço fibroso.

A cana-de-açúcar utilizada neste estudo tem origem no município de Igarapé-Açu, localizado no estado do Pará.

Preparo do bagaço da cana-de-açúcar:

Nesta etapa o bagaço foi manualmente desfiado enquanto estava em estado úmido. As fibras, já desfiadas, foram posteriormente secas em temperatura ambiente e cortadas nos comprimentos de 15 mm e 30 mm. A Figura 2 mostra a, extração da fibra do bagaço da cana (a), a fibra extraída (b), a fibra sendo cortada (c) e a fibra já cortada (d).



Figura 2 - Extração da fibra do bagaço da cana (a), a fibra extraída (b), a fibra sendo cortada (c) e a fibra já cortada (d).

Determinação da massa específica:

O ensaio para determinação da massa específica aparente das fibras foi realizado por meio do método do picnômetro. Inicialmente, pesou-se a massa do picnômetro vazio (m_1) a massa do picnômetro com o resíduo de Fibras (m_2), a massa do picnômetro com o resíduo de fibras e água destilada (m_3) e a massa do picnômetro contendo apenas água destilada (m_4). Com base nessas medidas, foi possível calcular a massa específica aparente utilizando a Equação (1), na qual ρ_{H_2O} representa o valor tabelado da densidade da água destilada correspondente à temperatura utilizada no momento do ensaio.

$$MEA = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 + m_2) - (m_1 + m_3)} * \rho_{H_2O} (g/cm^3) \quad (1)$$

Confecção dos corpos de prova:

Os corpos de prova foram confeccionados utilizando resina poliéster ortoftálica e fibras de bagaço de cana-de-açúcar com dois comprimentos distintos, 15 mm e 30 mm. Para cada comprimento de fibra, foram realizados testes com quatro diferentes proporções em massa: 0%, 1%, 2% e 3%. O procedimento de fabricação foi realizado mediante moldagem manual, utilizando moldes de silicone, sem a aplicação de agentes desmoldantes e sem a utilização de compressão.

O bagaço de cana foi submetido a uma estufa a uma temperatura de 100 °C por 15 minutos para remover o excesso de umidade. Posteriormente, com a massa da resina ortoftálica e o volume para o acelerador de cobalto (1,5% v/v) e o iniciador butanox (1% v/v), seguindo as proporções determinadas para cada porcentagem. Após retirar o bagaço de cana da estufa, deu-se início à

preparação da mistura. A mistura foi realizada em um recipiente adequado, seguindo a seguinte ordem: resina poliéster ortoftálica, acelerador de cobalto, fibra de bagaço de cana e iniciador butanox. Em seguida, o compósito foi vertido nos moldes de silicone. O tempo de cura foi de 24 horas em temperatura ambiente.

Após a finalização do processo de cura, realizou-se os acabamentos superficiais através de lixas nos corpos de prova, seguindo as recomendações das normas para os ensaios de tração e ensaios físicos. A Figura 3 apresenta os corpos de prova da matriz plena e dos compósitos.



Figura 3 - Corpos de prova da matriz plena e dos compósitos.

Ensaio Físicos:

O procedimento para a determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do compósito de fibra de bagaço de cana-de-açúcar seguiu as normas ASTM D 570, ASTM D 2734 e ASTM D 792, respectivamente, os quais foram realizados no laboratório de materiais porosos e sintetizados (LAMPS) da Universidade Federal do Pará.

Foram determinadas as massas dos corpos de prova em balança analítica, para a determinação da massa seca (M_S) e massa úmida (M_U) e a massa imersa (M_I) foi obtida com o corpo de prova saturado parcialmente imerso em água destilada. Foram utilizados cinco corpos de prova para cada proporção dos compósitos. Inicialmente os corpos de prova foram levados à estufa em uma temperatura de 100 °C por 24 h, dado esse período pesou-se a massa seca (M_S). Em seguida, foram imersos em água destilada em um período de 24 h onde foi determinada a massa úmida (M_U) e com o auxílio de um aparato foi determinado a massa imersa (M_I). A massa específica aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e absorção de água (AA) foram obtidas através das Equações 2, 3 e 4.

$$AA = \frac{M_U - M_S}{M_S} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

$$PA = \frac{M_U - M_S}{M_U - M_I} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

$$MEA = \frac{M_S}{M_U - M_I} \cdot \rho_{H_2O} (g/cm^3) \quad (4)$$

Ensaio de tração:

Para o ensaio de tração seguiu-se a norma ASTM D 638, onde o equipamento utilizado foi uma máquina modelo KE 2000 MP da marca KRATOS, com célula de carga de 5 kN, adotando velocidade de 5 mm/min, o ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação da massa específica:

Utilizando a equação (1), foi realizado o cálculo da massa específica da fibra do bagaço de cana-de-açúcar (CA), obtendo-se o valor de $0,658 \text{ g/cm}^3$. Esse resultado se mostra bastante próximo ao encontrado na literatura pesquisada. Alguns autores, consideram o valor da massa específica do bagaço da cana-de-açúcar como sendo de $0,635 \text{ g/cm}^3$ [4]. Essa concordância entre os valores comprova a precisão do método utilizado para a determinação da massa específica da fibra do CA.

Ensaio físicos:

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos por meio dos ensaios de Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA) da Matriz Plena (MP) e dos compósitos de fibra de cana-de-açúcar (CA) com os comprimentos de 15 e 30 mm e variando em 0, 1, 2 e 3% as frações em massa para cada série fabricada.

Tabela 1 - Resultado dos ensaios físicos.

Fibra/Proporção	Massa Específica Aparente (g/cm^3)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de Água (%)
MP	$1,199 \pm 0,010$	$1,174 \pm 0,637$	$0,984 \pm 0,545$
CA - 15mm 1%	$1,181 \pm 0,014$	$1,388 \pm 0,541$	$1,175 \pm 0,468$
CA - 15mm 2%	$1,155 \pm 0,017$	$2,500 \pm 0,800$	$2,145 \pm 0,732$
CA - 15mm 3%	$1,154 \pm 0,006$	$2,347 \pm 0,398$	$2,025 \pm 0,347$
CA - 30mm 1%	$1,191 \pm 0,006$	$1,412 \pm 0,363$	$1,182 \pm 0,307$
CA - 30mm 2%	$1,178 \pm 0,016$	$1,756 \pm 0,762$	$1,488 \pm 0,673$
CA - 30mm 3%	$1,143 \pm 0,011$	$3,298 \pm 0,495$	$2,925 \pm 0,453$

Com base na Tabela 1, observa-se que as fibras do bagaço de cana-de-açúcar têm menor massa específica aparente em comparação com a matriz plena, enquanto a porosidade aparente e a absorção de água dos compósitos são maiores que os da matriz plena. Isso se deve à estrutura porosa das fibras de cana-de-açúcar, que resulta em uma menor massa específica em comparação com a resina poliéster ortoftálica.

A interação entre a resina poliéster ortoftálica e a fibra ou outros fatores, como temperatura, tempo de cura e outras variáveis, podem influenciar a interação entre a fibra e a matriz, resultando em desvios dos valores esperados.

A densidade dos compósitos é influenciada pela adição de fibras, tornando o material final menos denso, o que é uma característica vantajosa, tornando-os mais leves e manuseáveis [5]. Além disso, a absorção de água nos compósitos reforçados com fibras naturais é influenciada pelo teor de fibra e pelo tempo de imersão. A absorção de água também aumenta com o aumento

da proporção de fibra. As fibras naturais são conhecidas por absorver água, portanto, um maior conteúdo de fibra resultaria em maior absorção de água [6].

Ensaio de tração:

Os dados obtidos pelo ensaio de tração foram organizados e estão apresentados na Tabela 2. Nesta tabela, é possível analisar os resultados referentes ao Limite de Resistência à Tração (LRT), alongamento e Módulo de Elasticidade (ME) da Matriz Plena (MP) e dos compósitos produzidos com fibras de bagaço de Cana-de-Açúcar (CA) de 15 mm e 30 mm, variando as proporções de 0, 1, 2 e 3%.

Tabela 2 - Dados obtidos pelo ensaio mecânico de tração.

Fibra/Proporção	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
MP	37,777 ± 5,261	6,328 ± 0,648	0,488 ± 0,087
CA – 15 mm 1%	20,399 ± 1,373	3,757 ± 0,805	0,596 ± 0,252
CA – 15 mm 2%	20,039 ± 2,694	2,680 ± 0,294	0,917 ± 0,054
CA - 15 mm 3%	21,804 ± 3,151	3,437 ± 1,078	0,562 ± 0,319
CA - 30 mm 1%	18,895 ± 2,273	2,912 ± 0,659	1,081 ± 0,667
CA - 30 mm 2%	15,765 ± 3,501	2,822 ± 0,664	1,231 ± 0,557
CA - 30 mm 3%	15,274 ± 3,170	3,222 ± 0,854	0,869 ± 0,539

Os resultados da Tabela 2 mostram que nenhum corpo de prova superou a resistência à tração da Matriz Plena. As fibras de 15 mm tiveram a maior resistência à tração, em média 20,04 MPa, especialmente na composição com 3% de fibras nessa categoria. Por outro lado, as fibras de 30 mm tiveram menor resistência à tração, em média 15,274 MPa, principalmente na composição com 3% de fibras. Aumentar o comprimento e a porcentagem de fibras reduziu a resistência e o alongamento.

Esses resultados destacam a importância das características das fibras no comportamento dos compósitos, e a identificação de parâmetros influenciam para otimizar o desempenho do material. Estudos anteriores mostraram que compósitos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar alcançaram uma resistência à tração de 20 MPa, enquanto os não reforçados atingiram 10 MPa [7].

A partir destes resultados é possível observar que as fibras do bagaço de cana-de-açúcar não agiram como um reforço na matriz polimérica e sim como carga de enchimento já que quando um material não contribui efetivamente para a melhoria das propriedades mecânicas de um compósito pode ser considerado uma carga de enchimento [3].

CONCLUSÕES

Os compósitos obtidos apresentaram boa homogeneidade e um bom acabamento superficial, com poucos defeitos, como bolhas e vazios.

O teste de massa específica por picnometria indicou que a fibra de bagaço de cana-de-açúcar tem uma massa específica de 0,658 g/cm³, em concordância com a literatura, sugerindo que o ensaio foi bem-sucedido.

Os testes físicos indicam que o compósito com fibras de bagaço de cana-de-açúcar é um material leve devido à sua baixa densidade. Além disso, essas fibras são mais porosas em comparação com a matriz plena e têm uma massa específica menor que a matriz.

O teste de tração mostrou que os compósitos de cana-de-açúcar e resina foram mais resistentes quando as fibras tinham 15 mm de comprimento, especialmente com 3% de fibras. Por outro lado, o uso de fibras de 30 mm resultou em menor resistência à tração, independentemente da proporção de fibras usada. Os compósitos de bagaço de cana-de-açúcar com matriz polimérica mostram potencial como alternativa econômica e com boas propriedades mecânicas. Estudos adicionais são necessários para avaliar diferentes tipos de fibras, matrizes e proporções de inserção, bem como considerar outros parâmetros, como tipo de resina, processo de fabricação e condições de cura.

REFERÊNCIAS

- [1] ROCHA, T.O.S., GOMES, I. S., SILVA, D. S., ANDRADE, J. S., SILVA, F. X. L., VILHENA, E. S., PEREIRA, L. C. O., FUJIYAMA, R. T. “Uso sustentável da palmeira de miriti como matéria prima e ferramenta didática no ensino/aprendizagem na disciplina de usinagem de materiais na engenharia mecânica”. Brazilian Applied Science Review, vol.3, n.1, pag 608-619, jan/fev 2019.
- [2] EMBRAPA. Cana. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana>. Acesso em: 23 out. 2023.
- [3] CALLISTER, W. D. Jr. e Rethwisch. David G. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. LTC – Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., 10ª edição. 944 P. Rio de Janeiro, 2020. ISBN 978-11-194-5391-8.
- [4] SHOJAEIARANI, J., BAJWA, D. S., and BAJWA, S. G. (2019). "Properties of densified solid biofuels in relation to chemical composition, moisture content, and bulk density of the biomass," BioRes. 14(2), 4996-5015. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/properties-of-densified-solid-biofuels-in-relation-to-chemical-composition-moisture-content-and-bulk-density-of-the-biomass/>. Acesso em: 25 out. 2023.
- [5] BRITO, Flavia Maria Silva. Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [6] SEIXAS, Gustavo Bittencourt de. Absorção de água em compósitos reforçados com fibras naturais e o efeito da hibridização interlaminar e de particulados sintéticos na difusão. 2021. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2021.
- [7] SEO, Emília S.M.; BARBOSA, Isabella T.F.; ATHIE, Alessandro A.R.; LUCA, Adriano C. de. Obtaining and characterization of polymeric composites reinforced with natural fibers. International Journal of Development Research, v. 11, n. 10, p. 50900-50903, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/32639>. Acesso em: 25 out. 2023.