

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE GUARUMÃ *

Miriane Alexandrino Pinheiro¹
Edemarino Araújo Hildebrando²
Rodolfo Moura de Souza Lima³
Sergio Neves Monteiro⁴
Alisson Clay Rios da Silva⁵
Verônica Scarpini Candido⁶

Resumo

O desenvolvimento de novos materiais, que associem boas propriedades mecânicas, baixo custo e sustentabilidade, tem se tornado frequente. Neste contexto, destaca-se o desenvolvimento de compósitos que utilizam como reforço fibras naturais. Estas fibras, são de grande importância ambiental, pois são biodegradáveis, de baixo custo e encontradas em abundância na natureza, como é o caso do guarumã (*Ischinosiphon koern*) uma espécie nativa da região amazônica, e encontrada com frequência em regiões de várzeas do estado do Pará. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo realizar uma caracterização mecânica de compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras contínuas e alinhadas de guarumã. Os corpos de prova foram produzidos em moldes de silicone atendendo as especificações da norma ASTM D638, para realização de ensaios de resistência à tração. A partir dos valores obtidos após o ensaio de tração, observou-se que, a adição das fibras de guarumã em matriz poliéster aumentou o valor resistência à tração, e a incorporação de 30% em volume de fibra apresentou o melhor resultado. Assim, os compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de guarumã, possuem um grande potencial, quando comparados a compósitos que possuem outras fibras naturais como reforço.

Palavras-chave: Materiais compósitos; Fibra de guarumã; Caracterização mecânica.

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF POLYESTER MATRIX COMPOSITE WITH GUARUMAN FIBERS

Abstract

The development of new materials, which combine good mechanical properties, low cost and sustainability has become frequent. In this context, we highlight the development of composites that use natural fibers as reinforcement. These fibers are of great environmental importance because they are biodegradable, inexpensive and found in abundance in nature, as is the case of guaruman (*Ischinosiphon koern*), a species native to the Amazon region, and frequently found in floodplain regions of the state of Pará. Thus, this work aims to perform a mechanical characterization of polyester matrix composites reinforced by continuous and aligned guarumã fibers. The test specimens were produced in silicone molds meeting the specifications of ASTM D638, to perform tensile strength tests. From the values obtained after the tensile test, it was observed that the addition of the guaruman fibers to the polyester matrix increased the tensile strength value, and the incorporation of 30% by volume of fiber presented the best result. Thus, the polyester matrix composites reinforced with guaruman fibers, have a great potential, when compared to composites that have other natural fibers as reinforcement.

Keywords: Composite materials; Guaruman fiber; Mechanical characterization.

- ¹ *Bacharel em Ciência e Tecnologia, Mestranda em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém - PA, Brasil.*
- ² *Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Professor, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.*
- ³ *Discente, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará - UFPA, Ananindeua, Pará, Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro de Materiais, PhD em Engenharia e Ciência dos Materiais, Professor, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais/Departamento de Engenharia mecânica e Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁵ *Químico industrial, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil. Bióloga, Doutora em Ciência dos Materiais, Professora, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre materiais que combinem boas propriedades mecânicas e que sejam ambientalmente corretos, tem crescido consideravelmente nos últimos anos [1,2,3]. Dentre esses materiais destaca-se o desenvolvimento de compósitos, um material multifásico produzido artificialmente com a combinação das principais propriedades de suas fases constituintes, a fase matriz e a fase de reforço [4,5]. A matriz, é a fase continua com as principais funções de proteger, dar forma e transferir as cargas da superfície para a fase de reforço, que por sua vez é a fase dispersa, as propriedades dos compósitos são influenciadas diretamente pela a forma, tamanho, distribuição e orientação do reforço [3,4,5].

Os materiais compósitos são divididos em função de seu reforço em compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e compósitos estruturais [3]. Neste trabalho, utilizou-se compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras, por possuírem potencial elevado, devido a transmissão e distribuição entre as fibras da carga aplicada na matriz. A matriz polimérica utilizada nesses compósitos, foi a resina poliéster, um material termorrígido muito utilizado por apresentar boa estabilidade dimensional e ser de fácil manuseio. As fibras utilizadas como agente de reforço foram as fibras naturais [4,5].

A utilização de fibras naturais como agente de reforço neste tipo de compósito, apresenta inúmeras vantagens, principalmente quando comparadas as fibras sintéticas, devido sua importância ambiental, pois são encontradas em grandes quantidades e com facilidade na natureza, em especial na região amazônica. Além disso, as fibras naturais possuem boas propriedades mecânicas, são fontes renováveis, biodegradáveis e de natureza não tóxicas [5,6].

O guarumã (*Ischinosiphon koern*), uma planta de caule liso e reto, nativa da região amazônica, que é encontrada com frequência em regiões de várzea do estado do Pará. Do caule desta planta são retiradas as talas do guarumã, muito utilizadas na atividade artesanal da região, é do caule também, que podem ser retiradas as fibras, utilizadas como objeto de estudo neste trabalho [7]. Assim, com a utilização da fibra de guarumã como agente de reforço, pode-se contribuir para a produção de um novo material com grande potencial que utiliza uma matéria-prima ainda pouco explorada na área da ciência dos materiais.

Margem [8] ao caracterizar compósitos de matriz poliéster reforçados com 10, 20 e 30% em volume de fibras de malva, obteve melhores resultados de tensão máxima em todas as composições, se comparados ao resultado da resina poliéster. Barbosa [9], ao avaliar a incorporação de fibras de buriti em matriz poliéster, observou que na composição com 30% em volume de fibra de buriti, atingiram valores de resistência a tração acima de 100 MPa, indicando que a fibra de buriti atua como um reforço efetivo para compósitos de matriz poliéster.

Assim, objetiva-se avaliar o comportamento mecânico por meio de ensaio de tração dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras contínuas e alinhadas de guarumã.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

As fibras de guarumã utilizadas neste trabalho foram coletadas na região metropolitana de Belém, e a matriz polimérica utilizada para a fabricação dos compósitos foi a resina poliéster.

O caule da planta do guarumã foi cortado em pedaços de aproximadamente 30 cm, em seguida foram colocados em estufa por 2 horas a 60°C, para que ocorresse o processo de secagem. Posteriormente, as fibras foram desfiadas manualmente e medidas com o auxílio de uma régua graduada, e cortadas em um comprimento médio de 10 cm.

Em seguida, as fibras foram separadas de acordo com suas espessuras, em fibras finas, médias e grossas. A medição do diâmetro fibrilar foi realizada em microscópio ótico da marca NIKON, modelo ECLIPSE LV150/LV150A no laboratório de microscopia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) da Universidade Federal do Pará (UFPA). De cada espessura foram tiradas 3 amostras para a medição do diâmetro, as medidas foram realizadas em 5 posições ao longo da fibra, para cada posição obteve-se uma segunda medida, girando a fibra em 180°. O valor do diâmetro foi obtido considerando a média dos 10 valores encontrados ao longo da fibra.

A massa específica da fibra foi obtida a partir da relação entre a massa e o volume da fibra. O valor da massa foi verificado com o auxílio de uma balança analítica e o valor do volume foi obtido levando em consideração que a fibra possui uma geometria cilíndrica perfeita, portanto, utilizou-se o volume do cilindro para este cálculo.

Os corpos de prova foram fabricados em molde de silicone, como mostra a figura 1.



Figura 1. Fabricação dos corpos de prova.

A resina foi inicialmente pesada para que se obtivesse a proporção exata da adição de seu catalizador. Após este procedimento, ambos foram misturados e essa mistura foi vertida no molde onde foram colocadas as fibras de forma contínua e alinhada. Os corpos de prova ficaram por 24 horas no molde para que ocorresse o processo de cura.

Foram produzidos os seguintes corpos de prova, CPG0 referente a resina pura, CPG10 compósito poliéster-guarumã com 10% em volume de fibra, CPG20 compósito poliéster-guarumã com 20% em volume de fibra, e CPG30 compósito poliéster-guarumã com 30% em volume de fibra. As fibras foram dispostas de forma contínua e alinhadas em moldes de silicone, a proporção de massa de fibra utilizada em cada corpo de prova foi obtida pela regra da mistura, apresentada na equação 1.

$$\% f = \frac{\frac{mf}{\rho f}}{\frac{mf}{\rho f} + \frac{mr}{\rho r}} \quad (1)$$

Onde:

$\% f$ é a porcentagem de fibra

mf é a massa da fibra

ρ_f é a densidade da fibra

mr é a massa da resina

ρ_r é a densidade da resina

Após essa etapa, os corpos de prova foram lixados e medidos, para a realização caracterização mecânica por meio de ensaios de tração, seguindo as diretrizes da norma ASTM D 638. Para este ensaio foi utilizada a máquina fabricada pela KRATOS modelo IKCL3-USB do Laboratório de Ensaios Mecânicos do Instituto Federal do Pará (IFPA). O corpo de prova foi posicionado para aplicação de uma carga de 5 kN em seu centro, com uma célula de carga de 3 kN a uma velocidade de ensaio de 2 mm/min.

2.2 Resultados e Discussão

O padrão de distribuição diametral foi feito a partir da medição de 300 fibras aleatórias e individuais, apresentado na Figura 1.

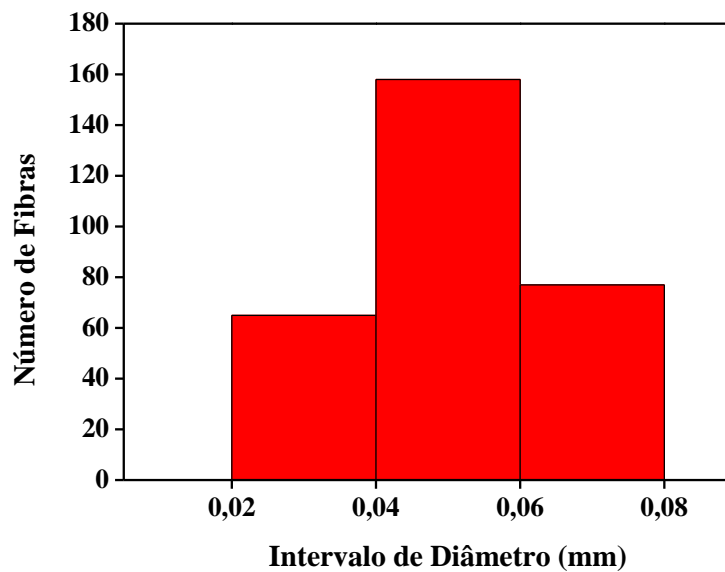


Figura 2. Padrão de distribuição diametral das fibras de guarumã.

A partir da análise de distribuição do número de fibras de guarumã por intervalo de diâmetro, é possível observar que o maior número de fibras foi encontrado no intervalo de diâmetro de 0,04 a 0,06 mm, fato que provavelmente está associado a natureza compacta das fibras naturais. Spinacé e colaboradores [10], ao realizarem a medição de diâmetro em fibras de curauá encontram um valor médio de 0,065 mm, valor que pode ser comparado ao encontrado para as fibras de guarumã.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores obtidos para a massa específica das fibras em função da distribuição do intervalo de diâmetro.

Tabela 1. Massa específica em função do diâmetro médio das fibras de guarumã

Espessura da fibra	Diâmetro médio (mm)	Massa específica (g/cm ³)
Fibras finas	0,03	0,69
Fibras médias	0,05	0,48
Fibras grossas	0,07	0,37

É possível observar, que o valor obtido para a massa específica aparente diminui com o aumento do diâmetro da fibra, esta relação pode estar associada ao fato de que, as fibras mais grossas apresentam maior quantidade de defeitos em sua microestrutura, como a presença de poros por onde ocorre a passagem das seivas bruta e elaborada. Candido [11] observou o mesmo padrão ao caracterizar fibras de bagaço de cana-de-açúcar, onde notou que fibras de menor diâmetro são mais compactas e possuem menos espaços vazios em sua microestrutura, sugerindo que fibras de maior diâmetro sejam menos resistentes que as fibras mais finas.

A composição química da fibra de guarumã, está apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Composição química da fibra de guarumã obtida por EDS.

Elemento	Composição Aparente	Peso (%)
C	22,54	60,15
O	14,87	38,39
Na	0,36	0,44
Mg	0,04	0,05
Al	0,04	0,05
Si	0,09	0,09
Cl	0,25	0,25
K	0,33	0,31
Ca	0,15	0,14
Cu	0,11	0,13

Fonte: Pinheiro et al (2018).

É possível observar maiores concentrações de carbono e oxigênio, pois são os átomos componentes da cadeia polimérica que forma as fibras de Guarumã.

O comportamento mecânico dos compósitos foi analisado por meio de ensaio de tração. Na Figura 2 está apresentado o aspecto macroscópico da fratura dos compósitos ensaiados em tração.

**Figura 3.** Aspecto macroscópico da fratura dos compósitos ensaiados em tração.

De acordo com a Figura 2, é possível observar que a fratura dos corpos de prova em geral, ocorreu dentro do comprimento útil, que é característica de compósitos reforçados com fibras naturais. Além disso, os corpos de prova apresentaram um comportamento de fratura frágil, pois não é possível identificar deformação a olho nu.

Na Figura 3 está apresentado o gráfico da propriedade de resistência à tração em relação a fração volumétrica e a média de desvio padrão, obtidos a partir das curvas de Forças versus Alongamento.

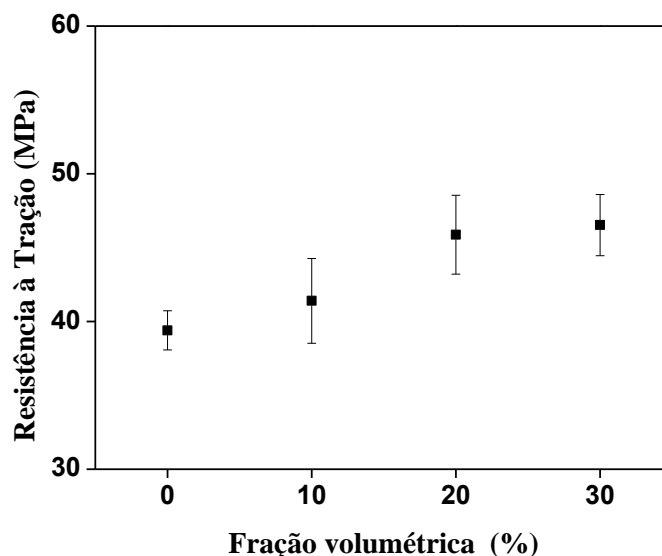


Figura 4. Resistência à tração dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de guarumã.

A partir do gráfico de resistência à tração, observou-se que os valores médios de resistência aumentaram na medida em que fibras foram adicionadas a matriz. Quando observada as porcentagens de 20 e 30%, nota-se que não houve uma variação significativa. No entanto, quando observado apenas os valores médios de resistência à tração, a incorporação de fibras de guarumã induz a um melhor reforço quanto maior o número de fibras incorporadas na matriz, sendo a composição com 30% em volume de fibra a que apresentou maior valor para esta propriedade.

Os valores referentes à resistência à tração, ao módulo de elasticidade e à deformação dos compósitos, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tração.

Composição	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação Média (%)
CPG0	39,40 ± 1,33	1,11 ± 0,16	0,11 ± 0,03
CPG10	41,40 ± 2,87	1,41 ± 0,15	0,09 ± 0,02
CPG20	45,88 ± 2,67	1,80 ± 0,13	0,08 ± 0,03
CPG30	46,53 ± 2,07	1,69 ± 0,14	0,08 ± 0,02

Onde: CPG0- resina pura; CPG10- compósito poliéster-guarumã com 10% em volume de fibra; CPG20- compósito poliéster-guarumã com 20% em volume de fibra; CPG30 - compósito poliéster-guarumã com 30% em volume de fibra.

De acordo com os valores mostrados na Tabela 2, em relação a resistência à tração, a composição com incorporação de 30% em volume de fibra de guarumã, apresentou um maior valor médio para esta propriedade. Barbosa [9], ao avaliar propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de buriti, observou que, com o aumento do número de fibras incorporadas a matriz há um aumento no valor de resistência à tração, o mesmo padrão observado para a incorporação de fibras de guarumã. Ao incorporar fibras curtas (orientadas aleatoriamente) de guarumã em matriz poliéster, Costa e colaboradores [7], observaram valores relacionados a resistência a tração menores que os observados neste trabalho, o que pode estar associado ao comprimento e ao modo que as fibras foram incorporadas na matriz, visto que para a produção dos compósitos deste trabalho foram utilizadas fibras longas e alinhadas, essa disposição favorece a transferência de carga ao longo do comprimento da fibra e contribui para o maior valor de resistência mecânica [4]. Candido [11], ao avaliar a incorporação de fibras de bagaço de cana-de-açúcar em matriz poliéster, observou valores semelhantes de resistência a tração quando levado em consideração a margem de erro estatístico.

Com os valores obtidos para a propriedade de módulo de elasticidade, observou-se que, o aumento do número de fibras guarumã adicionadas a matriz poliéster gerou um aumento nessa propriedade quando comparado à resina pura. O módulo de elasticidade está relacionado com a rigidez do material, sendo assim, quanto maior o módulo de elasticidade mais rígido é o material. O menor valor obtido para esta propriedade foi o da resina pura, e a composição com 20% em volume de fibra obteve o maior valor sendo este o material mais rígido. Os valores obtidos neste trabalho, são semelhantes quando comparados com a incorporação das fibras de buriti e bagaço de cana-de-açúcar.

Com relação a propriedade de deformação dos compósitos, o maior valor está associado à resina poliéster. Entretanto, pode-se afirmar que apesar dos valores médios serem diferentes, dentro de uma margem de erro, não há variação significativa entre os compósitos e a resina.

3 CONCLUSÃO

A análise da distribuição diametral das fibras de Guarumã revelou que, o maior número de fibras apresentou-se no intervalo de 0,04 a 0,06 mm. Com o aumento do diâmetro a massa específica aparente diminuiu, pois, fibras de maior diâmetro apresentam mais defeito a sua microestrutura quando comparada a fibras de menor diâmetro.

Com a caracterização mecânica dos compósitos observou-se que, a adição das fibras de guarumã em matriz poliéster aumentou o valor resistência à tração, na medida que fibras foram adicionadas na matriz, sendo que a composição com 30% em volume de fibra apresentou o melhor resultado. Em relação ao módulo de elasticidade, a resina obteve o menor valor e a composição CPG20 obteve o maior valor sugerindo que a adição de 20% em volume de fibra induz a um aumento da rigidez do compósito. A deformação foi maior para a resina poliéster.

A utilização de fibra de Guarumã em matriz poliéster mostrou-se eficiente, pois os compósitos produzidos obtiveram uma resistência à tração com valores semelhantes a de outros compósitos que foram pesquisados na literatura, e que utilizaram o mesmo tipo de fibra ou a mesma matriz. Assim, a incorporação de 30%

de fibra de guarumã em matriz poliéster, é mais indicada pois apresentou os maiores valores de resistência à tração.

REFERÊNCIAS

- 1 De Paula PG. Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF); 2011.
- 2 Barbosa, A de P. Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti. 2011. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense; 2011.
- 3 Marinucci G. Materiais compósitos poliéricos. São Paulo: Artiber; 2011.
- 4 Callister WDJr. Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2016.
- 5 Askeland DR. Ciência e engenharia dos materiais. 3. ed. São Paulo: Cengage learning; 2014.
- 6 Gokul K, Prabhu T, Rajasekaran T. Processing and Evaluation of Mechanical Properties of Sugarcane Fiber Reinforced Natural Composites. Transactions of the Indian Institute of Metals, v. 70, n. 10, p. 2537-2546; 2017.
- 7 Costa MO *et al.* Ensaio de tração e de absorção de água em compósitos de resina poliéster e fibra de tala de guarumã. In: Cbecimat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21, Cuiabá, 2014. Anais. São Paulo: Metallum; 2014. p.3736-3741.
- 8 Margem, JI Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. 2013. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense; 2013.
- 9 Barbosa, A de P Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti. 2011. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense; 2011.
- 10 Spinacé MAS *et al.* Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisalx curauá: Polímeros; 2011.
- 11 Candido VS. Caracterização e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. 2014. 188 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia; 2014
- 12 Pinheiro, M A *et al.* Análise mecânica e microestrutural de compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de guarumã. p. 688-697. In: 73º Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2018.