

# COMPÓSITOS DE POLIETILENO REFORÇADOS COM FIBRAS LONGAS DE BAMBU E SISAL: ANÁLISES MECÂNICA E ESTATÍSTICA\*

Saymon Ariel Rodrigues Madeiro<sup>1</sup>  
Ana Beatriz Ferreira Sousa<sup>2</sup>  
Leonardo Carneiro Andrade<sup>3</sup>  
Santino Loruan Silvestre de Melo<sup>4</sup>  
Milene Muniz Eloy da Costa<sup>5</sup>  
Enio Pontes de Deus<sup>6</sup>

## Resumo

É notório que a utilização de materiais compósitos é amplamente difundida e abrangente. Sendo assim, faz-se necessário a busca por novas tecnologias que auxiliem o desenvolvimento de compósitos cada vez mais fortes e resistentes, tendo em vista a otimização da relação custo-benefício. O objetivo desse trabalho, portanto, é estudar materiais compósitos de polietileno reforçados com fibras naturais de bambu e de sisal, avaliando as propriedades mecânicas destes. As fibras passaram por tratamentos químicos e, após a montagem dos corpos de prova, foram realizados ensaios de tração. Ademais, utilizando-se da Distribuição de Weibull, realizou-se uma análise estatística da resistência à fratura. Ao final dos procedimentos, averiguou-se que houve uma melhoria significativa nas propriedades mecânicas, quando em comparação com corpos de prova não reforçados com sisal ou bambu.

**Palavras-chave:** Fibras Naturais; Materiais Compósitos; Propriedades Mecânicas; Distribuição de Weibull.

## POLYETHYLENE COMPOSITES REINFORCED WITH LONG BAMBOO AND SISAL FIBERS: MECHANICAL AND STATISTICAL ANALYSES

## Abstract

The use of composite materials is widely disseminated. Therefore, it is necessary research new technologies that assist the development of increasingly resistant composites, to optimize the cost-benefit ratio. This work aims to study composite materials of polyethylene reinforced with natural fibers of bamboo and sisal, evaluating the mechanical properties of these. The fibers were chemically treated and traction trials were realized. Furthermore, using the Weibull Distribution, it was made a statistical analysis of the fracture resistance. As a result, it was compared non-reinforced material with the composite of polyethylene and sisal or bamboo fibers. Then it was concluded that there was a significant improvement in the mechanical properties.

**Keywords:** Natural Fibers; Composites; Mechanical Properties; Weibull Distribution.

<sup>1</sup> Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Graduando, Laboratório de Mecânica da Fratura e da Fadiga/Departamento de Engenharia de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

- <sup>2</sup> *Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Graduanda, Laboratório de Mecânica da Fratura e da Fadiga/Departamento de Engenharia de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*
- <sup>3</sup> *Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Graduando, Laboratório de Mecânica da Fratura e da Fadiga/Departamento de Engenharia de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Físico Bacharel/Licenciado, Doutorando, Professor Mestre, FAFIDAM, Universidade Estadual do Ceará, Limoeiro do Norte, Ceará, Brasil.*
- <sup>5</sup> *Engenharia e Ciências dos Materiais, Doutoranda, Laboratório de Mecânica da Fratura e da Fadiga/Departamento de Engenharia de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*
- <sup>6</sup> *Engenheiro Civil, Doutor, Professor Doutor, Laboratório de Mecânica da Fratura e da Fadiga/Departamento de Engenharia de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza, Ceará, Brasil.*
- <sup>7</sup> .

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da sobrecarga de recursos não renováveis, origina-se a necessidade da utilização de novas tecnologias para a substituição de matéria-prima. À vista disso, as fibras naturais surgem como alternativa. Neste trabalho, utilizou-se dois tipos de fibras: as de Bambu (*Bambusa Vulgaris*), e as de Sisal (*Agave Sisalana*). Estas serão acopladas em matriz polimérica de polietileno, formando materiais compósitos [1]. Desse modo as propriedades do material deverão depender das características das fibras a serem inseridas [2].

Estima-se que existam mais de mil espécies de bambu, sendo estas subdivididas em 90 gêneros. O bambu se destaca comercialmente em decorrência da rigidez de seus caules, porém o mesmo tem grande potencial na fabricação de celulose, álcool e de sacarias industriais. Assim como o bambu, o sisal possui grande capacidade comercial e tem seu plantio amplamente difundido. O estado da Bahia se destaca sendo responsável por 95% da produção nacional e a maior parte de matéria prima é utilizada para artesanato. Apesar de não ser sua principal utilização, tais fibras podem ser utilizadas como reforço de materiais poliméricos, assim como neste trabalho, que possui o polietileno como matéria-prima.

Por sua vez, o polietileno é amplamente difundido nas mais diversas áreas, que vão desde indústrias de bebidas a indústria têxtil. Esse termoplástico foi sintetizado pela primeira vez por Reginald Gibson e Eric Fawcett, em 1933. No ano de 2012, estima-se que 2320 milhões de toneladas desse polímero foram comercializadas no mercado brasileiro. Desse modo torna-se viável a utilização de materiais compósitos, tendo em vista que ambas materiais são de grande abrangência no mercado nacional.

O presente trabalho, então, objetiva apresentar uma análise mecânica e estatística do comportamento de compósitos de polietileno reforçados com fibras de bambu e sisal, atentando-se para suas interações com a matriz polimérica, como meio de verificação da eficácia dos tratamentos químicos e das propriedades físicas do material.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 METODOLOGIA

#### 2.1.1 Coleta de material

As fibras de bambu foram captadas na Universidade Federal Do Ceará — Campus do Pici —, em fevereiro de 2018. Trata-se da espécie *Bambusa vulgaris* popularmente conhecida como Bambu-açu. Todas amostras eram de plantas adultas, identificadas através da coloração de seus caules, com dimensões de aproximadamente 2m de altura e com colmos medindo em torno de 5,5cm de diâmetro interno e 12cm de diâmetro interno [3]. As fibras de sisal foram compradas em forma de cordas, que foram descascadas, desfibradas e divididas em pedaços de 30cm.

#### 2.1.2 Tratamento das fibras

Os materiais coletados foram encaminhados ao Laboratório de Mecânica da Fratura e da Fadiga (LAMEFF), da Universidade Federal do Ceará, onde foram realizados tratamentos químicos, a fim de aumentar a compatibilidade química entre as fibras e as matrizes poliméricas [4]. Ambas fibras passaram pelos mesmos tratamentos, para que se pudesse avaliar igualmente os efeitos de cada etapa dos procedimentos químicos, que foram: lavagem, mercerização e acetilação.

Na etapa de lavagem, as fibras ficaram submersas durante uma hora em água pura à 80°C. Ao fim deste período, foram lavadas em água corrente durante 5 minutos e secadas em uma estufa à 100°C. Esse processo também foi realizado ao término da mercerização e acetilação.

Na mercerização, as fibras foram totalmente imersas em uma solução de NaOH, com concentração de 2%, à 60°C, durante uma hora. Esse procedimento foi repetido duas vezes e sempre intercalado com a lavagem. Foram gastos 2 litros de solução de NaOH ao todo, sendo metade utilizado no tratamento das fibras de bambu e o restante no tratamento das fibras de sisal.

Por fim, as fibras foram acetiladas, ou seja, totalmente imersas em uma solução de anidrido acético e ácido acético (2,0: 1,0 em massa) na proporção de 1/10. Para completar a mistura foram adicionadas 10 gotas de ácido sulfúrico para cada litro de solução. Esse tratamento químico resultou de uma adaptação da metodologia de D'Almeida et al [5]. Após esta etapa, as fibras passaram novamente pela lavagem. Ao todo, foram gastos 2 litros de solução sendo metade utilizado no tratamento das fibras de bambu e o restante no tratamento das fibras de sisal.

#### 2.4 Montagem das placas

Neste trabalho, utilizou-se o Polietileno Misto Reciclado (PMR), cedido pelo LAMEFF, como matéria prima base. O método escolhido para a fabricação das placas foi o de compressão, tendo pressão e temperatura controladas. Utilizou-se um molde de Al-Mg para a produção de placas compósitas.

As placas de PRM foram confeccionadas levando em conta sua densidade. Desse modo, sabendo a densidade do polietileno, foi possível realizar o cálculo da quantidade necessária para se produzir placas de 300mm de diâmetro, 100mm de largura e até 7mm de espessura. O molde fora aquecido a 200°C e o material foi disperso no mesmo. A fim de obter corpos de prova com fibras orientadas à 0°. As fibras de bambu e o sisal foram distribuídas longitudinalmente ao longo da aresta de maior dimensão do molde.

## 2.4 Montagem dos corpos de prova

As placas foram divididas em cinco (5) corpos de prova com dimensões recomendadas pela ASTM 3039. Os ensaios foram realizados em abril de 2018 no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da Universidade Federal do Ceará (UFC), à uma velocidade constante de 5mm/min, à uma tensão máxima de 100KN. O ensaio foi interrompido logo após a ruptura dos corpos de prova.

## 2.4 Análise estatística

A Distribuição de Weibull, ferramenta estatística utilizada neste trabalho, surge com aliada na avaliação dos processos de falhas. Usualmente, essa ferramenta é utilizada de forma industrial na estimativa da vida útil de materiais e, quando empregada junto aos ensaios mecânicos, os resultados mostram-se mais efetivos.

Os dados obtidos com os ensaios de tração podem ser considerados como uma variável aleatória não negativa. Desse modo, a Distribuição de Weibull pode ser usada na modelagem da resistência à fratura para materiais que possuem comportamento considerado frágil. Sendo assim, têm-se a função de distribuição acumulada da equação de Weibull, representada pela Equação 1:

$$F(X; m, \sigma_0) = 1 - e^{\left(-\frac{\sigma_m}{\sigma_0}\right)} \quad (1)$$

Temos que  $F(x; m, \sigma_0)$  é a hipótese da fratura ocorrer e  $\sigma$ , nesse conceito, trata-se da tensão máxima na ruptura;  $m$  é o parâmetro de Weibull que determina a forma da função de distribuição e  $\sigma_0$  a constante de normalização. De tal forma, obtemos a Equação 2:

$$\ln \left( \ln \left( \frac{1}{1-F_j} \right) \right) = m \cdot \ln(\sigma_j) - m \cdot \ln(\sigma_0) \quad (2)$$

Após a expressão linearizada, temos que a mesma obedece de forma aproximada a seguinte lei  $Y=AX+B$  de modo que  $Y$  é a parte esquerda da Equação 2 e  $X$  é o  $\ln(\sigma)$ . Desse modo, podemos plotar um gráfico  $Y \times X$ , extraindo os valores de  $m$  e  $\sigma_0$ . Em continuidade, a obtenção das constantes da equação de Weibull utiliza-se de parâmetros nas equações da média (Equação 3) e variância para a distribuição de Weibull (Equação 4). Veja a seguir:

$$\sigma_5 = \sigma_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3)$$

$$Var_5 = \sigma_0^2 \left( \Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2 \right) \quad (4)$$

Nessas equações  $\sigma_5$  representa o valor médio da variável aleatória e  $Var_5$  representa a variância da mesma.

## 2.2 Resultados e Discussão

A priori, foi comparada resultados padrões para o polietileno de misto reciclado, os resultados obtidos em outros trabalhos serviram como base para corroborar os dados, logo mais expostos, dos materiais compósitos. Abaixo observamos os valores que devem ser considerados padrões para este trabalho.

**Tabela 1.** Resultados do Ensaio de Tração do Polietileno Misto Reciclado.

NÚMERO	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	TENSÃO MÁXIMA
1	567,7	2	5,9
2	496	1,7	5,1
3	495,3	2,13	5,9
4	589,4	2,4	6,1
5	407,3	1,8	5,2
<b>Média</b>	511,14 ± 32,02	2,01 ± 0,118	5,64 ± 0,31

*Propriedades mecânicas de uma placa feita inteiramente com PMR [6].*

Os resultados dos ensaios de tração são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados do Ensaio de Tração.

Tensão máxima de ruptura (MPa)	Polietileno Misto Reciclado (PMR)	PMR com fibras de sisal (MPa)	PMR fibras de bambu (MPa)

1	5,9	10	19
2	5,1	11	18
3	6,0	11	16
4	5,7	13	13
5	6,1	16	20
<b>Média</b>	<b>5,7</b>	<b>12,2</b>	<b>17,2</b>

No decorrer dos ensaios, foi avaliada a tensão suportada pelo material e sua deformação imposta. Assim, observa-se, na Tabela 2, a tensão máxima de ruptura, que torna possível observar que os compósitos reforçados com fibras naturais se mostram mais resistentes no teste de tração, quando comparados à uma placa constituída somente de PMR que podem ser observados na tabela 1. Quando a comparação das duas placas, percebe-se que os compósitos reforçados com fibra de bambu apresentam maior resistência à tração em do que os compósitos reforçados com fibras de sisal.

Após a modelagem do valor médio de tensão de ruptura, obtido através dos ensaio mecânico, aplicou-se a distribuição estatística de Weibull. Para isso, reordenamos os resultados de modo a distribuir de forma crescente os limites de ruptura ao longo dos testes, assim, determinaremos os valores de  $m$  e  $\sigma_0$  e posteriormente determinar os valores das médias dos resultados. Respectivamente para os compostos de bambu e sisal será observado nas tabelas 2 e 3 o parâmetro adotado, a resistência média (Mpa) e a variância.

**Tabela 3.** Resultados da análise de Weibull aplicados dos ensaios de tração para as fibras de bambu.

	<b>Parâmetro <math>m</math></b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>Variância</b>
<b>Compósito</b>	2,81	16,8	0,75

**Tabela 4.** Resultados da análise de Weibull aplicados dos ensaios de tração para as fibras de sisal.

	<b>Parâmetro <math>m</math></b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>Variância</b>
<b>Compósito</b>	2,82	11,85	0,04

O parâmetro “m” se relaciona diretamente com a chance de ocorrer o evento (quanto menor for “m” menor a confiabilidade da distribuição, assim quando “m” aumenta temos uma maior eficiência nos resultados obtidos na distribuição de Weibull, isso em decorrência de haver uma pequena variância da resistência média. Tal fato concretiza uma maior repetição dos acontecimentos o que destaca de forma mais eficaz o ensaio de tração.

Fazendo uma análise entre a Tabela 2 e a Tabela 3, destaca-se, novamente, a melhoria das propriedades mecânicas dos compósitos de polietileno. Assim como verificou-se nos ensaios de tração, os compósitos reforçados com fibra de bambu apresentaram-se mais eficientes em relação aos compósitos reforçados com fibra de sisal.

### 3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos confirmam que materiais compósitos de polietileno reforçados com fibras naturais são mais resistentes à tração, em comparação à própria matriz polimérica. Após a realização dos ensaios de tração foi aplicada a distribuição de Weibull. O modelo estatístico mostrou dados dentro dos padrões esperados e anexou maior confiabilidade aos resultados obtidos nos ensaios mecânicos

As placas de compósitos que possuíam reforço com fibras de bambu se demonstraram mais resistentes à tração quando comparadas as placas que possuíam reforço com fibra de sisal. Contudo, as placas reforçadas com fibras de sisal demonstraram maior resistência à tração quando comparadas as placas de polietileno misto reciclado.

Através dos dados obtidos nos ensaios mecânicos aliados a análise estatística da distribuição de Weibull, pode-se concluir que materiais compósitos reforçados com fibras naturais possuem maior resistência a tração quando comparados ao polietileno misto reciclado. O principal intuito desta pesquisa, a análise comparativa entre a atuação das fibras naturais de sisal e bambu como reforços em uma matriz polimérica de polietileno, foi alcançado com êxito, as fibras de bambu se demonstraram mais eficientes no reforço do material tendo as mesmas apresentado maior resistência a tração e melhor desempenho na análise estatística.



## REFERÊNCIAS

- 1 Flamínio Levi Neto e Pardini Luis Claudio. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia (1 ed.). São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- 2 EP Calegari. Composites from renewable sources as an alternative for product development. Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 7.2016; 1:143-144.
- 3 Wahab. Relationship between physical, anatomical and strength properties of 3-year-old cultivated tropical bamboo gigantechloascortechinii. Journal of Agricultural and Biological Science. 2012;7(10):782-791.
- 4 Jahan. Comparative Study of Physical and Elastic Properties of Jute and Glass Fiber Reinforced Ldpe Composites. International Journal of Scientific & Technology Research, 2012. 68 - 72.
- 5 D'Almeida ALFS, Calado V, Barreto DW, D'Almeida JRM. Acetilação da fibra de bucha (Luffa cylindrica). Polímeros: Ciência e Tecnologia. 2005[data de acesso em 16 de junho de 2017]; 15: 59-62.
- 6 Luis De Moura Paiva Júnior Sérgio. Estudo Do Processo De Reciclagem Do Polietileno Para A Produção De Blendas. [Graduação]. Universidade Federal do Ceará, 2017..