

ENSAIO DE IMPACTO IZOD EM COMPÓSITOS DE EPÓXI REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA *

Ulisses Oliveira Costa¹
Lucio Fabio Cassiano Nascimento²
Sérgio Neves Monteiro³

Resumo

As fibras de malva (*Urena lobata, linn*) demonstram grande potencial na utilização como reforço em compósitos de matriz polimérica. Neste trabalho foram produzidos compósitos de epóxi com fibras de malva, nas frações volumétricas de 0% a 30%, com o objetivo de investigar as energias médias de impacto Izod. Para os compósitos com 20% e 30% de fibras de malva, houve atuação mais efetiva do reforço, com a predominância de mecanismos como ruptura de fibras e descolamento interfacial com a matriz epóxi, vistos através de análise de MEV. Para a análise dessas energias de impacto, foi aplicado o Teste de Tukey a partir do qual pôde-se afirmar, com um nível de confiança de 95%, que os corpos de prova de epóxi reforçados com 30% de fibras de malva, tiveram o melhor desempenho, atingindo uma absorção de energia de 498,86 J/m.

Palavras-chave: Fibras de Malva; Epóxi; Ensaio de Impacto Izod

IZOD IMPACT TEST IN EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH FIBERS MALVA

Abstract

The malva fibers (*Urena lobata, linn*) demonstrate great potential for use as reinforcement in polymer matrix composites. In this work were produced composites with epoxy malva fibers, the volume fractions of 0% to 30%, with the aim of investigating the average Izod impact energy. For the composites with 20% and 30% of mauve fibers, there was a more effective reinforcement performance, with the predominance of fracture mechanisms such as fiber rupture and interfacial detachment with the epoxy matrix, observed by SEM analysis. For the analysis of impact energy, the Tukey test was applied from which it could be said, with a confidence level of 95%, the epoxy specimens reinforced with 30% of malva, had the best performance, achieving an energy absorption of 498,86 J/m.

Keywords: Malva Fibers; Epoxy; Izod Impact Test.

¹ Engenheiro de Materiais, P.G, Mestrando em Ciências dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ulissesolie@gmail.com

² Engenheiro Metalurgista, D.C, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. lucio_coppe@yahoo.com.br

³ Engenheiro Metalurgista, Ph.D, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Ao contrário das fibras sintéticas, as fibras naturais lignocelulósicas (FNLs) não possuem propriedades uniformes, pois são microestruturalmente heterogêneas e têm limitação dimensional. Uma mesma espécie de FNL pode ter suas propriedades afetadas consideravelmente dependendo da sua origem, qualidade e idade da planta, diâmetro da fibra, razão de aspecto e seu pré-condicionamento [1].

Em se tratando de compósitos com fibras contínuas e alinhadas, as características mecânicas dependem de vários fatores, incluindo os comportamentos tensão deformação das fases presentes, as frações volumétricas dessas fases e a direção na qual a tensão ou carga é aplicada[2].

A fibra de malva (*Urena lobata, linn*) embora muito utilizada para a confecção de cordoaria em geral, tapetes, papel moeda, artesanato e outras várias finalidades, ainda não possui grande utilização como componente de reforço em produtos industrializados. No entanto, propriedades físicas e mecânicas como resistência a tração, módulo de elasticidade e energia de impacto [3], demonstram grande potencial na utilização destas fibras como reforço em compósitos de matriz polimérica (CFNLs). Na Tabela 1 são mostradas algumas dessas propriedades.

Tabela 1. Propriedades físicas e mecânicas das fibras de malva *Fonte: Adaptado [3].*

	Diâmetro (μm)	Comp. (mm)	Massa Específica (kg/m^3)	Absorção máxima (%)	Resistênci a a tração (MPa)	Along. a ruptura (%)	Mód. de elasticidad e (GPa)
Malva	42,6	23,8	1374	377	160	5,2	17,4

Neste contexto, destaca-se a possibilidade de utilização de CFNLs em aplicações dinâmicas. Portanto, torna-se fundamental a medição e o ajuste da energia de impacto Izod (J/m) nestes compósitos.

O objetivo deste estudo consiste na fabricação de compósitos de epóxi reforçados com fibras de malva, nas frações volumétricas de 0% até 30% de fibras, de modo a calcular a energia de impacto Izod absorvida pelos CFLNs, mostrando a relação desta energia obtida com a fração volumétrica de fibras de malva. Para isto os compósitos serão cortados e o ensaio Izod será realizado nas condições previstas pela norma ASTM D256, com o objetivo de obtenção da energia de impacto em J/m. O Teste de Tukey, também conhecido como teste da diferença honestamente significativa (HSD), avalia a igualdade entre os tratamentos e trata-se de um teste de hipóteses. Então, a partir dos resultados rejeita-se ou não a hipótese de igualdade, com base na diferença mínima significativa (d.m.s), dada pela Equação 1:

$$d. m. s. = q \cdot \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (1)$$

onde q é amplitude total estudantizada, a qual é função do grau de liberdade (G.L.) do resíduo e do número de tratamentos; QMR é o quadrado médio do resíduo; r é o número de repetições de cada tratamento [4].

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais utilizados

Foram utilizadas fibras de malva fornecidas pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), que por sua vez foram adquiridas da Companhia Têxtil de Castanhal. A Figura 1 mostra as fibras de malva como fornecidas.



Figura 1. Fibras de malva como fornecidas pela UENF.

O polímero utilizado como o material da matriz da placa compósita foi a resina epóxi comercial do tipo éter diglicídico do bisfenol A (DGEBA), endurecida com trietilenotetramina (TETA), utilizando-se a proporção estequiométrica de 13 partes de endurecedor para 100 partes de resina. A empresa fabricante da resina foi a Dow Chemical do Brasil, sendo fornecida pela distribuidora RESINPOXY Ltda.

2.2 Preparação das fibras de malva

Primeiramente as fibras foram limpas, cortadas na dimensão de 150mm e secas em estufa por 24h. Com isso foram fabricadas as placas compósitas.

2.3 Preparação dos compósitos epóxi-fibras de malva

Para fabricar os compósitos foi utilizada matriz metálica (Figura 2) com volume interno de $214,2 \text{ cm}^3$ (dimensões $15 \times 12 \times 1,19 \text{ cm}$). As placas foram prensadas em uma prensa hidráulica de capacidade máxima 30 toneladas. Utilizou-se uma carga de 5 toneladas durante 24 horas para fabricação dos corpos compósitos [5,6,7]. Para as fibras de malva utilizou-se como referência inicial a densidade de $1,40 \text{ g/cm}^3$ [8,9] e para a resina epóxi (DGEBA-TETA) o valor de $1,11 \text{ g/cm}^3$ [10]. Os percentuais de malva utilizados no trabalho variaram de 0% a 30%v/v.



Figura 2. Matriz metálica para confecção de placas compósitas.

2.4 Preparação dos corpos para ensaio de impacto Izod

Os corpos para ensaio de impacto Izod foram produzidos a partir do corte das placas compósitas em serra de fita, nas dimensões previstas na ASTM D256. Objetivou-se medir a energia de fratura em Joules / metro (J/m). Foram produzidas 5 amostras para cada percentual de fibras ensaiado, nas dimensões 62,5 x 12,7 x 10 mm. Na Figura 3 são mostradas as amostras preparadas para o ensaio.



Figura 3. Corpos de prova com fibras de malva para ensaio Izod.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos e apresentados na Tabela 2 percebe-se dois grandes saltos na energia de impacto Izod. O primeiro de 0% para 10% e o segundo de 10% para 20%. Em ambos os casos a variação de energia possivelmente está associada a mudança de mecanismos de fratura. Passando de um mecanismo completamente frágil, com baixa absorção de energia para os corpos de prova com 100% de epóxi, até um comportamento de transição dúctil-frágil para um percentual de 20%v/v de reforço. A explicação para esta mudança está associada a propagação transversal da trinca no compósito com 0% de reforço, ou seja, a medida que aumenta-se a

fração volumétrica de fibras, as mesmas passam a funcionar como barreiras que desviam a trajetória das trincas, e por conseguinte, aumentam a energia de impacto do sistema [11]. Aumento também expressivo ocorreu entre 20%v/v e 30%v/v de reforço, consolidando a atuação do mecanismo de ruptura dúctil nos compósitos produzidos com esta maior fração volumétrica de fibras.

Na Figura 4 mostra-se o gráfico que relaciona a energia de impacto Izod com o percentual de fibras de malva. Percebe-se nitidamente que a energia de impacto cresceu com a fração volumétrica de fibras [3,12,13].

Tabela 2. Resultados do ensaio de impacto Izod para os compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de malva contínuas e alinhadas.

Energia absorvida (J/m) - Ensaio Izod				
CPs	0%	10%	20%	30%
1	10,15	102,71	342,18	547,42
2	6,84	122,10	354,19	498,58
3	4,08	137,76	346,3	526,76
4	5,46	104,07	378,6	522,35
5	5,47	103,87	381,09	466,36
6	5,37	122,22	352,89	475,62
7	6,76	99,71	371,48	454,96
Média	6,30	113,21	360,96	498,86
Desvio Padrão	2,11	14,30	15,84	34,67

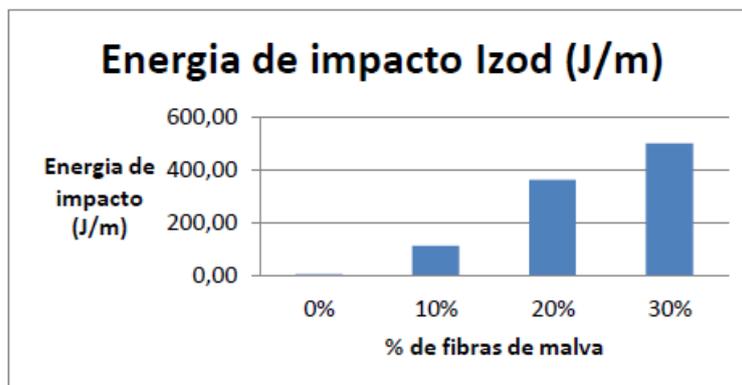


Figura 4. Energia de impacto Izod *versus* percentuais de fibras de malva.

Tabela 3. Análise de variância das energias de impacto médias obtidas para os compósitos de matriz epóxi reforçados com percentuais de fibras de malva de 0% a 30%v/v

Causas de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado	F crítico (tabelado)
Tratamentos	3	1065675,77	355225,26	855,43	3,01
Resíduo	24	9966,22	415,26		
Total	27	1075641,99			

A partir dos resultados obtidos na análise de variância (Tabela 3) rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais com nível de significância de 5%, pois pela estatística “F”, têm-se: F calculado > F crítico (tabelado). Portanto, a fração volumétrica de fibras de malva nos compósitos de matriz epóxi, apresenta efeitos na energia de impacto Izod.

Por isso, aplicou-se o Teste de Tukey para comparação de médias utilizando-se um nível de confiança de 95%, para verificar qual fração volumétrica de fibras de malva proporcionou melhores resultados em termos de energia de impacto Izod. Os resultados obtidos nessa análise estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Parâmetros do teste de Tukey utilizados para verificação da fração volumétrica de fibras de malva que proporcionou melhores resultados de energia de impacto Izod

Graus de liberdade do resíduo (GL)	Amplitude estudantizada (q tab.)	Quadrado médio do resíduo (QMR)	Número de repetições de cada tratamento (r)	Diferença mínima significativa (d.m.s)
24	4,17	415,26	7	32,12

Tabela 5. Resultados obtidos para as diferenças (d.m.s) entre os valores médios da energia de impacto Izod, nas frações volumétricas de fibras de malva de 0 a 30%v/v, após aplicação do teste de Tukey.

Fração volumétrica de fibras de malva	0%	10%	20%	30%
0%	0	106,90	354,66	492,56
10%	106,90	0	247,76	385,66
20%	354,66	247,76	0	137,90
30%	492,56	385,66	137,90	0

Com base nesses resultados, têm-se que, com nível de significância de 5%, que o compósito reforçado com 30%v/v de fibras de malva apresentou melhor desempenho, pois exibiu maior valor de energia média de impacto Izod (498,86 J/m), e este é significativamente diferente dos demais, pois as diferenças encontradas são superiores ao d.m.s (32,12). Fato semelhante também foi comprovado por outros trabalhos envolvendo energia de impacto em CFNLs [3,11,13]. Outro ponto importante é que houve diferença significativa entre os valores de energia média de impacto Izod entre os demais percentuais de reforço de fibras de malva com 0%, 10% e 20%, comprovando, portanto, a relação direta entre o aumento da fração volumétrica de fibras e a energia de impacto Izod.

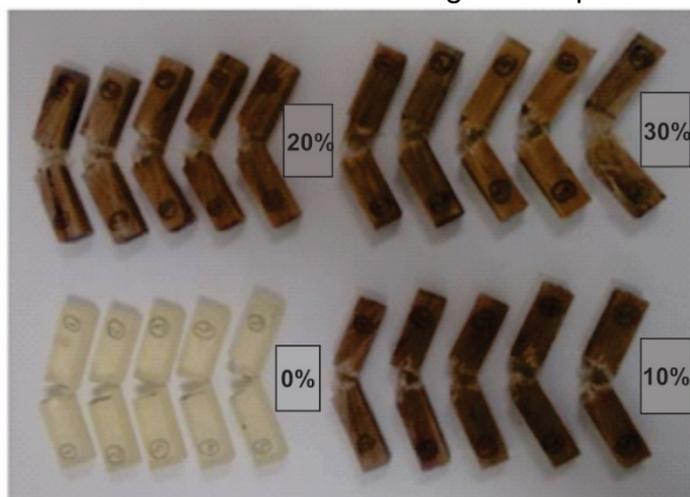


Figura 5. Corpos de prova fraturados completamente após ensaio de impacto Izod.

Pela análise da Figura 5 confirma-se a tendência de fratura frágil nos corpos de 0% e 10%, e a evolução para uma fratura dúctil nos compósitos com fração volumétrica de fibras de 20% e 30%.

Na Figura 6(a) percebe-se o mecanismo de fratura completamente frágil, pela presença de padrões tipo “marcas de rio”. A trinca propaga-se de maneira transversal e catastrófica tanto no compósito 100% epóxi quanto naquele com 10% de fibras (Figura 7 (b)), mostrando que não houve reforço efetivo com esse percentual de fibras [11,13].

Para os compósitos com 20% presentes na Figura 6(c) percebe-se uma atuação maior das fibras no mecanismo de fratura, evidenciando fibras rompidas e descoladas da matriz (efeito “pull-out”), fato comprovado pela maior absorção de energia de impacto Tabela 2.

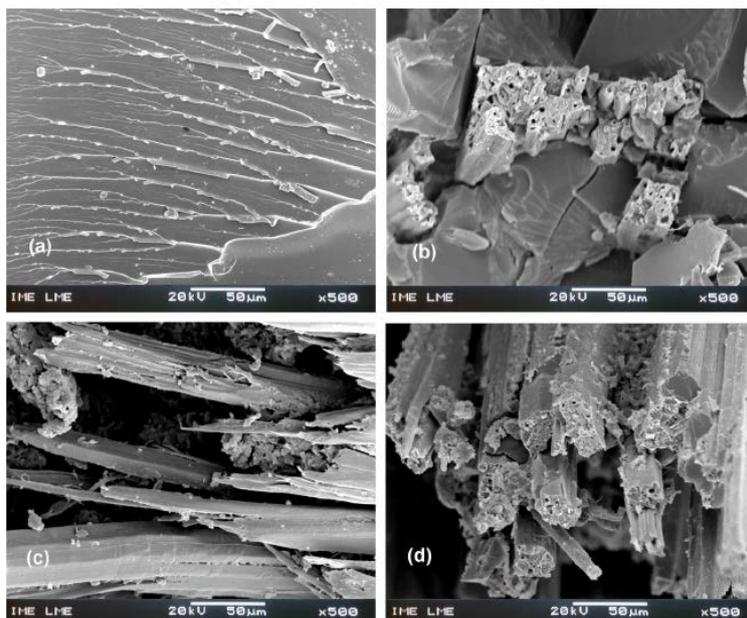


Figura 6. Microscopia eletrônica de varredura das superfícies de fratura dos compósitos reforçados com fibras de malva após ensaio de impacto Izod (500x). (a) 0%; (b) 10%; (c) 20% e (d) 30%v/v de fibras

Na imagem da Figura 6(d) percebe-se a ruptura de fibras, bem como o descolamento interfacial com a matriz epóxi. Esta combinação de mecanismos de falha propiciou a absorção de alta energia de impacto comparativamente a outras frações volumétricas testadas. Tais resultados estão de acordo com as observações de outros autores que também realizaram ensaios de impacto em CFNLs [3,11,13].

4 CONCLUSÃO

A energia de impacto Izod cresce à medida que se aumenta a fração volumétrica de fibras de malva incorporadas a matriz, além de causar mudanças nos mecanismos de fratura, como foi observado através das análises de MEV. Dentre os materiais testados, através do Teste de Tukey, com nível de confiança de 95%, os compósitos com 30%v/v de fibras de malva foram os que exibiram os melhores resultados em termos de energia de impacto Izod. Houve predominância de fratura frágil nos compósitos com frações volumétricas de fibras de malva de 0%, 10% e dúctil para os compósitos com 20% e 30%. Para esses últimos houve atuação mais efetiva do reforço, com a predominância de mecanismos como ruptura de fibras e descolamento interfacial com a matriz epóxi, o que gerou energia média de impacto Izod na ordem de 498,86 J/m.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq, à FAPERJ e à CAPES por meio do PDS pelo financiamento da pesquisa, através do programa 31007015006P4, e a UENF pelo fornecimento das fibras de malva.

REFERÊNCIAS

- 1 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, Biodegradable Polymers and Bio-composites: An Overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 276/277, 1–24, 2000.
- 2 CALLISTER, W.D. RETHWISCH, D. G.; ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- 3 MARGEM, J.I. Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2013.
- 4 VIEIRA, S. Análise de Variância (ANOVA). São Paulo, SP: Editora Atlas; 2006.
- 5 LUZ, F.S. Avaliação do Comportamento Balístico de Blindagem Multicamada dom Compósito de Epóxi Reforçado com Fibra de Juta. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia. 2014.
- 6 MILANEZI, T.L. Avaliação do Comportamento Balístico Sinérgico de Blindagem Multicamadas com a Fibra de Ramí. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia. 2015.
- 7 BRAGA, F.O. Comportamento Balístico de uma Blindagem Multicamada utilizando Compósito Poliéster-Curauá como Camada Intermediária. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia. 2015.
- 8 AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H. Uso de materiais alternativos à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: *Seminário Iberoamericano*, 1997.
- 9 OLIVEIRA, J.T.S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. 1998. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- 10 SILVA, L.C. Comportamento balístico do compositoeepoxi-curaua em blindagem multicamada. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.
- 11 GOMES, M.A. Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras de folhas de abacaxizeiro (PALF)/Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.
- 12 BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres. *Progress in Polymer Science*, Vol. 4, 221-274, 1999.
- 13 CANDIDO, V.S. Caracterização e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.
- 14 D256, A. Standard test method for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics. Philadelphia, PA: American Society for Testing Materials International, 2005.