

ENSAIOS DE IMPACTO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADA COM FIBRAS DE RAMI ¹

Sergio Neves Monteiro²

Frederico Muylaert Margem³

Luís Fernando Lopes dos Santos Júnior⁴

Resumo

Fibras de rami (*Boehmeria nivea*) estão entre as lignocelulósicas naturais menos conhecidas e investigadas nos dias de hoje. Embora diversos estudos já venham sendo realizados, poucas informações existem sobre as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de rami. Assim, o presente trabalho avalia a resistência ao impacto deste tipo de compósito. Corpos de prova normalizados foram confeccionados com percentuais de até 30% em volume de fibras de rami alinhadas ao longo de todo o comprimento. As fibras foram embutidas sob pressão em matriz de resina poliéster comercial do tipo ortoftálica misturada com endurecedor para cura à temperatura ambiente por 24 horas. Os corpos de prova foram ensaiados em pêndulo de impacto Charpy e as superfícies de fratura analisadas por microscopia eletrônica de varredura. A resistência ao impacto, medida pela energia absorvida, aumentou exponencialmente com a quantidade relativa de fibra de rami reforçando o compósito. Este desempenho pode ser diretamente associado à dificuldade de ruptura imposta pelas fibras bem como ao tipo de trincas resultantes da interação fibra/matriz, o que ajuda a absorver a energia do impacto.

Palavras-chave: Fibra de rami; Ensaio Charpy; Compósito de matriz poliéster; Fractografia por MEV.

IMPACT TESTS IN POLYESTER MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH RAMIE FIBERS

Abstract

Ramie fibers (*Boehmeria nivea*) are among the less known and investigated lignocellulosic natural fibers. Although several studies are nowadays being carried out, only limited information exists regarding the mechanical properties of polymeric composites reinforced with continuous and aligned ramie fibers. Thus, the present work evaluates the impact resistance of this type of composite with polyester matrix. Standard specimens were prepared with up to 30% in volume of long ramie fibers aligned with the specimen length. These fibers were embedded under pressure in a commercial orthophthalic polyester resin mixed with hardener at room temperature for a 24h cure. The specimens were impact tested in a Charpy pendulum and the fracture surfaces were analyzed by scanning electron microscopy. The impact resistance of the composites, measured by the absorbed energy, increased exponentially with the relative amount of ramie fiber. This performance can be directly associated with the difficult to fracture the composite owing to the fiber strength as well as the type of cracks that result from the fiber/matrix interface, which contributes to absorb the impact energy.

Key words: Ramie fiber; Charpy test; Polyester composite; SEM fractograph.

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² PhD, Professor Titular, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.

³ M.Sc e Doutorando do LAMAV- CCT/UENF. fmargem@bol.com.br.

⁴ Graduando, LAMAV – CCT/UENF.

INTRODUÇÃO

Na época dos créditos de carbono, da consciência ambiental, dos produtos verdes e ecologicamente corretos, cresce consideravelmente o interesse dos pesquisadores e empresários por soluções para preservação de bens não renováveis principalmente aqueles à base de petróleo e minérios. Desta forma justifica-se a busca por novos materiais biodegradáveis e renováveis. Esta iniciativa motivou nas últimas décadas pesquisas com fibras naturais e compósitos com elas reforçados. Na engenharia dos materiais, este papel se traduz também na maior importância atribuída aos materiais cuja fabricação envolva baixos custos e consumo de energia, além de poderem ser reciclados.

Fibras naturais, tanto de origem animal como a seda, quanto de origem vegetal lignocelulósicas, atendem a estes requisitos. Ou seja, suas utilizações as caracterizam como ambientalmente corretas em comparação com as fibras sintéticas como o náilon, vidro e carbono. Por esta razão, compósitos reforçados com fibras naturais, sobretudo as lignocelulósicas facilmente cultivadas, têm sido objeto de recentes investigações.

Um trabalho de revisão sobre este tipo de compósitos foi publicado ao final da última década por Bledzki e Gassan.⁽¹⁾ Desde então, centenas de outras publicações foram dedicadas a fibras regularmente cultivadas como a juta,^(2,3) o linho,^(4,5) o sisal,^(6,7) a madeira,^(8,9) o coco^(10,11) e até mesmo fibra de bananeira^(12,13) como exemplos entre muitas outras.

Existe, por outro lado, um grupo pouco conhecido de fibras lignocelulósicas que somente agora está sendo investigado. Algumas destas fibras, que também apresentam um grande potencial para uso em compósitos, são típicas de regiões tropicais e, assim, de interesse para países asiáticos, africanos e latino-americanos. No Brasil, exemplos dessas fibras para reforço de compósitos poliméricos são o rami,⁽¹⁴⁾ a bucha,^(14,15) a piaçava^(14,16) e o curauá.^(14,17) No caso da fibra de rami, além de outras características⁽¹⁸⁻²⁵⁾ uma das vantagens é a sua resistência à tração, que pode alcançar 870 MPa (14), superior até a das fibras de sisal e juta.^(2,7,14) Potencialmente compósitos com fibras de rami poderiam ser usados para fabricar painéis para construção civil e mobiliário, reforçando a matriz polimérica com fibras longas e alinhadas de rami.⁽²⁶⁾

Estas aplicações exigem que sejam conhecidas as propriedades mecânicas do compósito, em especial sua tenacidade, de importância tanto no processamento quanto no uso de componente fabricados com esse tipo de material. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a tenacidade ao entalhe, através de medidas de energia de impacto Charpy, de compósitos de matriz poliéster reforçadas com fibras longas e alinhadas de rami. A fratura dos corpos de prova foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de rami (*Boehmeria nivea*) foram adquiridas da firma Sisalsul Indústria de Fibras, que comercializa o produto cultivado no Estado do São Paulo. Após separação, limpeza e secagem à temperatura ambiente, as fibras foram misturadas em quantidades de 0%, 10%, 20% e 30% em volume com resina poliéster ortoftálica para preparar os compósitos. Placas destes compósitos com 10 mm de espessura foram fabricadas em molde retangular de aço, com dimensões

de 152 x 125 mm. As fibras foram mantidas alinhadas ao longo da dimensão de 125 mm.

A análise estatística do lote recebido, efetuada aleatoriamente em 100 fibras, mostrou as distribuições de comprimento e diâmetro na Figura 1. Destas distribuições obteve-se o comprimento médio de 155 mm e o diâmetro médio de 0,096 mm.

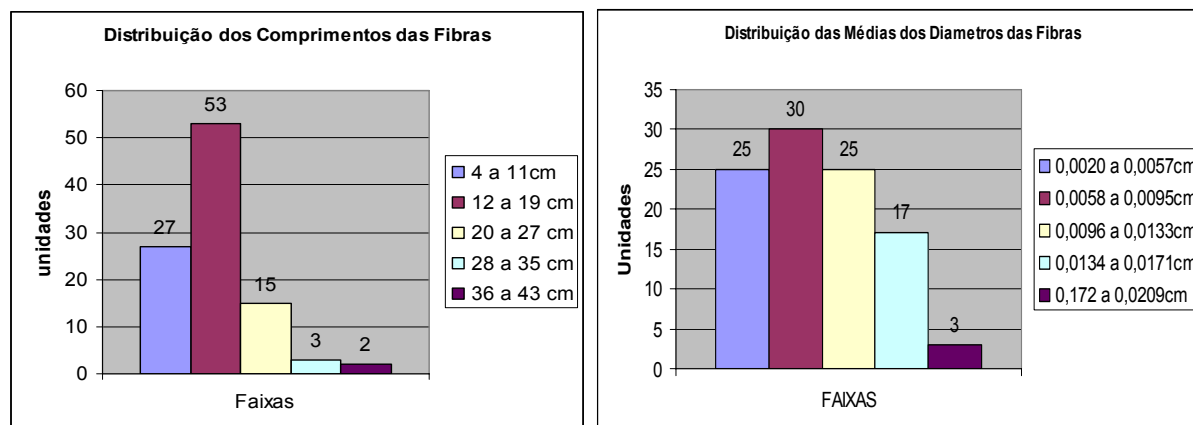


Figura 1 – Distribuição do comprimento (a) e do diâmetro (b) da fibra de Rami.

A resina ainda líquida, acrescida de 0,5% de catalisador à base de metil-etil cetona, conforme indicado pelo fabricante, foi vertida sobre as fibras de rami dentro do molde. O compósito formado foi deixado curar por 24 horas à temperatura ambiente. Placas de cada compósito foram então cortadas, segundo a direção de alinhamento das fibras, em barras medindo 125 x 12,7 x 10 mm que serviram como base para confecção de corpos de prova de ensaio de impacto Charpy, de acordo com a norma ASTM D256.

Para a confecção do entalhe com 2,54 mm de profundidade, ângulo de 45° e raio de curvatura de 0,25 mm no fundo do entalhe, utilizou-se uma fresa alemã em aço rápido atendendo à norma DIN 847. Os corpos de prova foram ensaiados em um pêndulo da marca EMIC, em configuração Charpy, pertencente ao Instituto de Xistoquímica da UFRJ. A energia de impacto foi obtida em martelos com potência de 2,7 J, para compósitos de poliéster puro, 0% de fibra; 5,4 J para 10% e 20% de fibra; 10,8 J para 20% e 30% de fibra e 21.6 J para 30% de fibra. Para cada condição, 10 corpos de prova foram utilizados e os resultados interpretados estatisticamente.

A superfície de fratura dos corpos de prova após o ensaio de impacto foi analisada por microscopia eletrônica de varredura, MEV, em um equipamento Jeol, modelo JSM-460 LV do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, PEMM/COPPE/UFRJ. Amostras cortadas da região de fratura foram metalizadas com ouro e observadas com elétrons secundários acelerados a 15 kV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação da energia específica (J/m) obtida em ensaios Charpy em função da percentagem em volume das fibras de rami nos compósitos com matriz poliéster está mostrada na Figura 2. Nota-se nesta figura que a incorporação de fibras de rami aumenta substancialmente a tenacidade do compósito, medida pela energia absorvida no impacto do martelo Charpy.

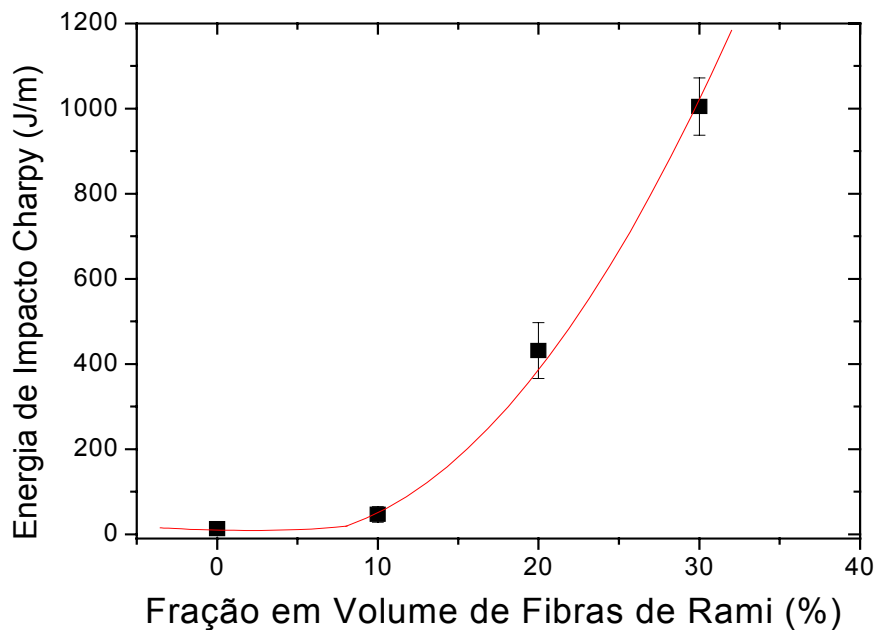


Figura 2 – Variação da energia de impacto Charpy de compósitos de poliéster com fração em volume de fibras de Rami.

Dentro dos limites das barras de erro, associadas ao desvio padrão, o aumento da energia na Figura 2 corresponde a uma relação exponencial entre a energia de impacto, E, e a fração de fibras de rami, F:

$$E = 2,68.exp(F) \quad [1]$$

É importante notar que a dispersão dos valores da energia indicada pelo desvio padrão na Tabela 1 aumentam com a fração de fibra de rami. Esta imprecisão nos valores é reconhecida como uma característica própria das fibras lignocelulósicas.^(1,26) O comportamento obtido para a tenacidade ao entalhe dos compósitos com matriz poliéster reforçada com fibras de rami é consistente com outros resultados de impacto envolvendo tanto fibras sintéticas⁽²⁹⁾ quanto fibras naturais.⁽¹⁷⁾ Na verdade, no caso das fibras de rami têm-se os maiores valores (Figura 2), até agora obtidos em ensaios de impacto Charpy de compósitos poliméricos.

A Tabela 1 apresenta valores da tenacidade ao impacto obtidos para compósitos com diferentes matrizes poliméricas reforçadas com diversas fibras naturais. No presente trabalho, utilizando-se fibras contínuas e alinhadas de rami, os níveis alcançados são bem superiores a todos os outros indicados até agora na literatura. Estes valores podem dar uma idéia comparativa da maior tenacidade de compósitos, quando reforçados com fibras contínuas e alinhadas de rami.

Em confronto com compósitos de matriz polimérica reforçados com outras fibras naturais,^(17,27,30) a Tabela 1 mostra que os valores alcançados para compósitos com fibras contínuas de rami na Figura 2 superam em muito os de todas as outras. A razão para este desempenho pode ser explicada através das características da fratura.

Yue, Looi e Quek,⁽²⁸⁾ sugerem que uma baixa resistência interfacial fibra/matriz contribui para uma ineficiente transferência de esforço da matriz para a fibra, resultando assim em maior energia absorvida no impacto. Por outro lado,

existe outro fator que também contribui para a maior tenacidade associada ao reforço de fibras contínuas e alinhadas de rami na matriz polimérica. Este fato é uma consequência da resistência ao dobramento destas fibras.

Tabela 1 – Valores de tenacidade ao impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas.

Compósito	Fibra (% em Volume)	Tipo de Ensaio	Tenacidade ao Impacto (J/m)	Referência
Rami	30(contínua)	Charpy	1005	Presente trabalho
Curauá/Poliéster	40 (contínua)	Charpy	170	(27)
Piaçava/Poliéster	40 (contínua)	Charpy	94	(30)
Curauá/PP	50 (picada)	Izod	54	(17)
Madeira/PP	50 (picada)	Izod	28	(17)
Coco/PP	50 (picada)	Izod	46	(17)
Linho/PP	50 (picada)	Izod	38	(17)
Juta/PP	50 (picada)	Izod	39	(17)
Sisal/PP	50 (picada)	Izod	51	(17)

Características micro-estruturais da ruptura dos corpos de prova estão apresentadas na Figura 3. Nesta figura, exemplos típicos das duas partes de corpos de prova rompidos após o impacto Charpy estão relacionados com a percentagem em volume de fibra de rami no compósito. Observa-se que a incorporação de fibra acarreta um comportamento marcante em relação ao poliéster puro, 0% de fibra. Mesmo com somente 10% de fibra, a área de fratura não é totalmente transversal, pois uma parte acompanha o sentido longitudinal de alinhamento das fibras.

Isto indica que as trincas geradas no entalhe pelo impacto, iniciam uma propagação transversal pela matriz, como se espera em polímeros frágeis, mas ao esbarrarem nas fibras, tendem a se propagar na interface fibra/matriz. Isto está de acordo com o mecanismo de ruptura em compósitos com fraca resistência interfacial.⁽²⁸⁾ Embora pareça paradoxal, uma baixa resistência interfacial acarreta em maior tenacidade, pois gera maior área de fratura e, conseqüentemente, maior energia absorvida no impacto.

Para frações volumétricas de fibra de rami de 20% e 30% (Figura 3), os corpos de prova nem sequer foram rompidos no impacto. Isto se deve à elevada resistência à tração da fibra de rami,⁽¹⁴⁾ evitando a ruptura total. Para estas maiores frações de fibra, a parte não rompida do corpo de prova dobrou-se o suficiente para permitir que suas extremidades se soltassem dos batentes do equipamento. Neste caso, o resultado da energia de impacto Charpy não pode ser comparado com outros em que o corpo de prova é totalmente rompido. Entretanto, a não ruptura no impacto indica uma elevada tenacidade do compósito, conforme mostrado na Figura 2.

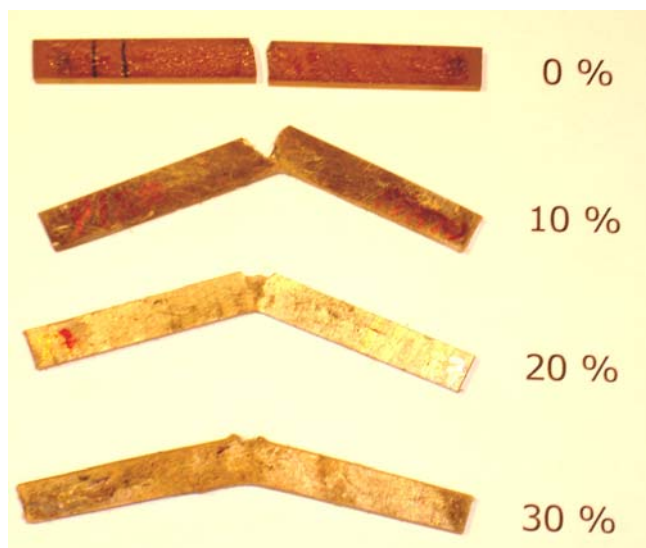


Figura 3 – Corpos de prova típicos de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações volumétricas de fibra de curauá, rompidos por impacto Charpy.

A análise da microestrutura por MEV na região de fratura resultante do impacto Charpy permitiu melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pela elevada tenacidade dos compósitos reforçados com fibras de rami. Em relação à resina pura (Figura 4), o aspecto da fratura é típico do poliéster. Com menor aumento (Figura 4(a)), tem-se uma faixa superior mais marcada e escura, correspondente ao entalhe feito pela fresa. A parte inferior, mais lisa e clara, corresponde à fratura transversal por impacto. Esta fratura, mostrada com maior aumento na Figura 4(b), revela rugosidade associada à propagação da única trinca, nucleada no entalhe, que ocasionou a ruptura. A trinca acarretou também pequenas cavidades, provavelmente resultantes da porosidade causada pelas condições de processamento, como já havia sido sugerido.⁽²⁷⁾

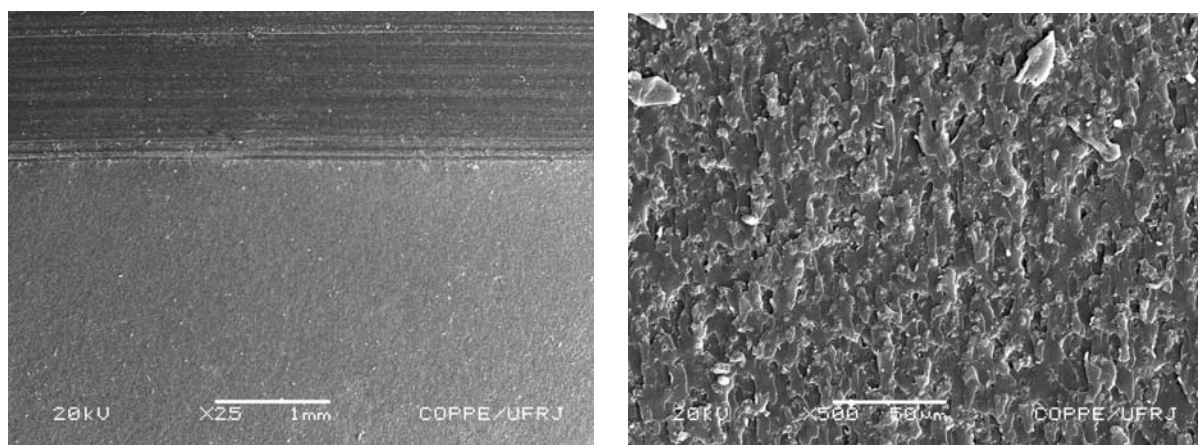


Figura 4 – Fratura por impacto do corpo de prova de resina poliéster pura. (a) visão do entalhe e da superfície transversal de ruptura; (b) detalhe da ruptura.

A Figura 5 apresenta por MEV detalhes da superfície rompida por impacto Charpy de um corpo de prova com 30% em volume de fibras de rami.

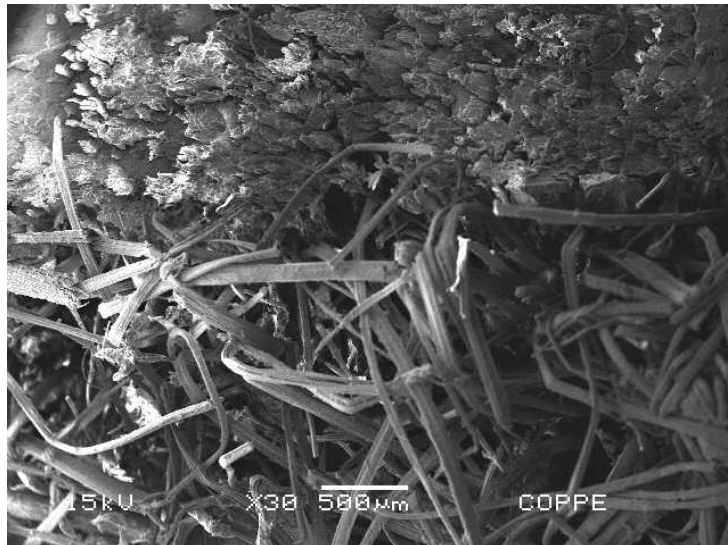


Figura 5 – Fratura por impacto do corpo de prova do compósito com 30% em volume de fibra de Rami.

É importante notar na Figura 5, observada na região em que a fratura propagou-se seguindo a interface fibra/matriz, evidências de descolamento interfacial. Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura através de trincas que se propagam preferencialmente entre a fibra e a matriz devido à fraca resistência interfacial.⁽²⁸⁾ A maior área superficial de ruptura dos compósitos como consequência do reforço das fibras contínuas e alinhadas de rami, justifica a elevada energia absorvida no impacto, bem como seu aumento com a fração de fibra.

CONCLUSÕES

Compósitos constituídos de fibras contínuas e alinhadas de rami reforçando matriz poliéster, curada à temperatura ambiente, apresentam um aumento exponencial na tenacidade ao entalhe, medida em ensaios de impacto Charpy, em relação à resina poliéster pura.

Nestes compósitos, para a fração de fibra incorporada até 30% em volume, atinge-se a maior a tenacidade já registrada em fibras lignocelulósicas. Parte deste aumento na tenacidade é devido à baixa tensão interfacial entre a fibra de rami e a resina poliéster. Isto acarreta maior energia absorvida no impacto em decorrência da propagação de trincas na interface fibra/matriz, gerando maior área de ruptura em relação a uma fratura transversal que ocorra na matriz rompendo as fibras.

Para frações de fibra de rami superiores a 10% em volume, o aumento da tenacidade ao entalhe pode também, em parte ser devido à energia despendida em se dobrar as fibras que não são rompidas após o impacto do martelo Charpy.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ, CNPq, CAPES e FENORTE/TECNORTE. É também motivo de agradecimento a permissão para uso dos equipamentos por parte: da Prof^ª Regina Sandra Veiga Nascimento, Charpy do Instituto de Química da UFRJ, bem como do Prof. Luiz Henrique de Almeida, MEV do PEMM/COPPE/UFRJ.

REFERÊNCIAS

- 1 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibres. Prog. **Polym. Sci.**, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 2 KUMAR, A.P.; SINGH, R.P.; SARWADE, B.D. Degradability of composites prepared from ethylene-polypropylene copolymer and jute fiber under accelerated aging and biotic environments. **Mater. Chem. and Phys.**, v. 92, p. 458-469, 2005.
- 3 DOAN, T.-T.-L.; GAO, S.-L.; MÄDER, E. Jute/polypropylene composites. I. Effect of matrix modification. **Compos. Sci. Technol.**, v. 66, p. 952-963, 2006.
- 4 CANTERO, G.; ARBELAIZ, A.; LHANO-PONTE, R.; MONDRAGON, I. Effects of fiber treatment on wettability and mechanical behaviour of flax/polypropylene composite. **Compos. Sci. Technol.**, v. 63, p. 1247-1254, 2003.
- 5 VAN DE WEYENBERG, I.; IVENS, J.; DE COSTER, A.; KINO, B.; BATENS, E.; VERPOEST, I. Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites. **Compos. Sci. Technol.**, v. 63, p. 1241-1246, 2003.
- 6 JOSEPH, P.V.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Short sisal fiber reinforced polypropylene composites: the role of interface modification on ultimate properties. **Compos. Interf.**, v. 92(2), p. 171-205, 2002.
- 7 FUNG, K.L.; LI, R.K.Y.; TJONG, S.C. Interface modification on the properties of sisal fiber-reinforced polypropylene composites. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 85, p. 169-176, 2002.
- 8 ALBANO, C.; ICHAZO, M.; GONZALEZ, J.; DELGADO, M.; PALEO, R. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP + wood flour and PP + sisal fiber. **Mater. Research Innovat.**, v. 4, p. 284-293, 2001.
- 9 CHUAI, C.; ALMDAL, K.; POULSEN, L.; PLACKETT, D. Conifer fibers as reinforcing materials for polypropylene-based composites. **J. Appl. Polym. Sci.**, v.80, p. 2833-2841, 2001.
- 10 ROUT, J.; TRIPATHY, S.S.; MISHRA, M.; MOHANTY, A.K; NAYAK, S.K. The influence of fiber surface modification on mechanical properties of coir-polyester composites. **Polym. Composites.** v. 22, p 468-472, 2001.
- 11 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Efeito de interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco, **Rev. Mater.**, v. 11(4), p. 395-402, 2006.
- 12 POTHAN, L.A.; GEORGE, J.; THOMAS, S. Effect of fibre surface treatment on the fibre-matrix interaction in banana fibre reinforced polyester composites, **Compos. Interf.**, v. 9(4), p. 335-353, 2002.
- 13 POTHAN, L.A.; THOMAS, S. Polarity parameters and dynamic mechanical behaviour of chemical banana fibre reinforced polyester composites, **Compos. Sci. Technol.**, v. 63, p. 1231-1240, 2003.
- 14 SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. **Composites: Part A**, v. 38, p. 1694-1709, 2007.
- 15 BOYNARD, C.A.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Aspects of Alkali Treatment of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*) Fibers on the Flexural Properties of Polyester Matrix Composites. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 87 p.1927-1932, 2003.
- 16 DE DEUS, J. F.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Effect of Drying, Molding Pressure and Strain Rate on the Flexural Mechanical Behavior of Piassava (*Attalea funifera*) Fiber-Composite Materials. **Polymer Test.** v. 24, p. 750-755, 2005.

- 17 LEÃO, A.L.; TAN, I.H.; CARASCHI, J.C. Curaua Fiber – A Tropical Natural Fibre from Amazon – Potential and Applications in Composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPOSITES, Hurghada, Egypt, May, 1998, p. 557-564.
- 18 HINDELEH, A. M.; JOHNSON, D. J.; Crystallinity and crystallite size measurement in cellulose fibres: Ramie and Fortisan. **Polymer**, v. 13(9) p. 423-430, 1972.
- 19 SHIHONG, L.; BENLIAN, Z.; QIYUN, Z.; XIANRONG, B., A new kind of super-hybrid composite material for civil use - ramie fibre/Al, **Composites**, v. 25(3), p. 225-228, 1994.
- 20 ISHIKAWA, A.; OKANO, T.; SUGIYAMA, S.; Fine structure and tensile properties of ramie fibres in the crystalline form of cellulose I, II, III, and IV. **Polymer**, v. 38(2), p.463-468, 1997.
- 21 WOLLERDORFER, M.; BADER, H.; Influence of natural ramie fibers on the mechanical properties of biodegradable polymers, **Industrial Crops and Products**, v. 8(2), p. 105-112, 1998.
- 22 ANGELINI, L. G.; LAZZERI, A.; LEVITA, G.; FONTANELLI, D.; BOZZI, C. Ramie (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud.) and Spanish Broom (*Spartium junceum* L.) fibers for composite materials: agronomical aspects, morphology and mechanical properties, **Industrial Crops and Products**, v.11(2-3), p.145-161, 2000.
- 23 LEI, W.; WEN-GUANG, L.; REN, C.; Effect of volume fraction of ramie cloth on physical and mechanical properties of ramie cloth/UP resin composite, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 16(2), p. 474-477, 2006.
- 24 YONGSHANG, L.; LIHUI, W.; XIAODONG, C. Morphological, thermal and mechanical properties of ramie crystallites and fibers — reinforced plasticized starch biocomposites, **Carbohydrate Polymers**, v. 63(2,3), p. 198-204, 2006.
- 25 ZHAO-TIE, L.; YANI, Y.; GANI, Y.; LILI, Z.; PING, S.; ZHONG-WEN, L.; JIAN, L.; HEPING, X.; YUANDE, P.; SHOUWEI, T. A green route to prepare cellulose acetate particle from ramie fiber, **Reactive and Functional Polymers**, v. 67(2), p. 104-112. 2007.
- 26 PAIVA JÚNIOR, C. Z.; CARVALHO, L. H.; FONSECA, V. M.; MONTEIRO, S. N.; D'ALMEIDA, J. R. M. Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie–cotton fabric composites, **Polymer Testing**, v. 23(2), p. 131-135, 2004.
- 27 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Tenacidade ao entalhe por impacto Charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. **Rev. Mater.**, v. 11(3), p. 204-210, 2006.
- 28 YUE, C.Y.; LOOI, H.C; QUEK, M.Y. Assessment of Fibre-Matrix Adhesion and Interfacial Properties Using the Pullout Test. **Int. J. Adhesion and Adhesives**, v. 15, p. 73-80, 1995.
- 29 FU, S.Y.; LAUKE, B.; MÄDER, E.; Hu, X.; YUE C.Y. Fracture resistance of short-glass-fiber-reinforced and short-carbon-fiber-reinforced poly-propylene under charpy impact load and its dependence on processing. **J. Mater. Process. Technol.**, v. 89/90, p. 501-507, 1999.
- 30 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D. Ensaio de impacto em compósitos poliméricos reforçados com fibras de curauá. In: 62º CONGRESSO ANUAL DA ABM, Julho de 2007, Vitória, ES, p. 871-879.