



ENSAIOS DE IMPACTO IZOD EM COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL¹

Artur Camposo Pereira²
Sergio Neves Monteiro³
Wellington Pereira Inácio⁴

Resumo

Fibras de sisal estão entre as lignocelulósicas naturais com grande potencial de resistência para utilização em compósitos poliméricos. O presente trabalho avalia a resistência ao impacto deste tipo de compósito. Corpos de prova do tipo Izod normalizados foram confeccionados com frações de até 30% em volume de fibras de sisal alinhadas ao longo do comprimento. As fibras foram embutidas sob pressão em matriz de resina poliéster curadas à temperatura ambiente por 24 horas. Os corpos de prova foram ensaiados em pêndulo de impacto Izod e as superfícies de fratura analisadas por microscopia eletrônica de varredura. A resistência ao impacto aumentou exponencialmente com a quantidade relativa de fibra de sisal reforçando o compósito. Este desempenho foi associado à dificuldade de ruptura imposta pelas fibras bem como ao tipo de trincas resultantes da interação fibra de sisal/matriz de poliéster que ajuda a absorver a energia do impacto.

Palavras-chave: Fibra de sisal; Compósito; Matriz poliéster; Ensaio de impacto Izod; Tenacidade ao entalhe.

IZOD IMPACT TESTES IN POLYESTER MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH SISAL FIBERS

Abstract

The sisal fibers have a great resistance potential among the natural lignocellulosic fibers for use in polymer composites. The present works evaluates the impact resistance of this type of composite. Izod standard specimens were fabricated with volume fraction of up to 30% of aligned sisal fibers along the length. The fibers were press-molded embedded in polyester resin and then cure at room temperature for 24 hours. The specimens were tested in an Izod pendulum and the fracture surfaces analyzed by scanning electron microscopy. The impact resistance increased exponentially with volume fraction of sisal fiber in the composite. This performance was associated with both the barrier to ruptured imposed by the fibers and the type of cracks resulting from the sisal fiber / polyester matrix interaction, which helps to absorb the impact energy.

Keywords: Sisal fiber; Composite; Polyester matrix; Izod impact testing; Notch toughness.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Estudante Graduando, LAMAV – CCT/UENF. arturcamposomv@hotmail.com

³ PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF 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.

⁴ Estudante Graduando, LAMAV – CCT/UENF.

1 INTRODUÇÃO

Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas, ou seja, fibras extraídas de diferentes partes de plantas vêm sendo cada vez mais investigados,⁽¹⁻³⁾ e até mesmo empregados na indústria automobilística,⁽⁴⁻⁶⁾ por suas vantagens técnicas e econômicas. Além disso, estas fibras lignocelulósicas são alternativas ambientalmente corretas, em comparação com as tradicionais fibras sintéticas, como as de vidro, carbono, náilon e aramida, sobretudo por seus aspectos biodegradáveis e renováveis. No Brasil, a variedade de fibras naturais é uma motivação adicional para as pesquisas de novos compósitos poliméricos com estas fibras,⁽⁷⁻⁸⁾ denominados compósitos verdes.

O sisal (*Agave sisalana*), ilustrado na Figura 1, é uma planta de grande interesse econômico no Brasil, principalmente no nordeste brasileiro. Devido à sua perfeita adaptação ao clima semi-árido e resistência à seca, a planta deste gênero, tornou-se uma das principais culturas de várias áreas da região nordestina. Na Bahia, o sisal é o segundo maior produto agrícola exportado,⁽⁹⁾ que assim contribui com renda para muitos agricultores. Estima-se que aproximadamente 150 mil famílias dependam diretamente desta indústria. Além da fácil obtenção desta fibra lignocelulósica, outro ponto positivo do sisal é o seu baixo custo e também o fato de ser uma fonte renovável.⁽⁸⁾ Adicionalmente, a resistência mecânica elevada da fibra de sisal a torna uma alternativa viável para reforço de compósitos poliméricos.⁽¹⁰⁻¹³⁾

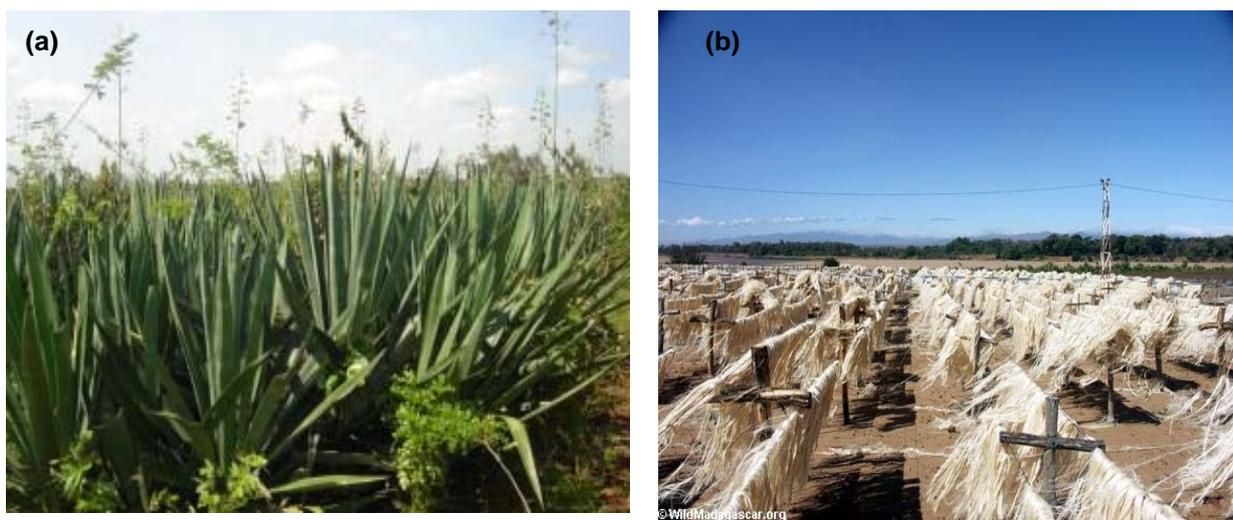


Figura 1: Típica planta de sisal (a) e suas fibras secando ao sol (b).

Sabendo-se que compósitos reforçados com fibras longas e alinhadas apresentam o melhor desempenho mecânico em comparação com outros tipos de reforços como partículas ou fibras curtas aleatoriamente orientadas,⁽¹⁴⁻¹⁷⁾ o objetivo do presente trabalho foi realizar uma avaliação preliminar através de medidas de energia de impacto Izod, juntamente com as características microestruturais associadas à fratura, de compósitos de matriz poliéster incorporada com fibras longas e alinhadas de sisal. Vale lembrar que uma fibra longa e contínua deve ter no mínimo 15 vezes o comprimento crítico necessário para garantir maior eficiência no reforço de um compósito.⁽¹⁸⁾

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As fibras de sisal foram comercialmente obtidas de uma firma de materiais de construção na forma de um grande feixe. Iniciando a realização do presente trabalho, foram retiradas aleatoriamente do feixe 100 amostras de fibras para uma avaliação estatística do comprimento e do diâmetro como mostrado nos histogramas da Figura 2. A partir destes histogramas obteve-se um comprimento médio de 73,38 mm e um diâmetro médio de 0,13 mm. É importante notar no histograma de comprimento da Figura 2 que o tamanho máximo das fibras de sisal estudadas, correspondente ao disponível comercialmente, foi de 100 mm. Tendo em vista os resultados da avaliação do comprimento crítico das fibras de sisal em matriz de poliestireno como sendo de 10 mm,⁽¹⁹⁾ não é possível afirmar que as fibras do presente trabalho sejam longas para efeito de reforço de compósitos poliméricos.

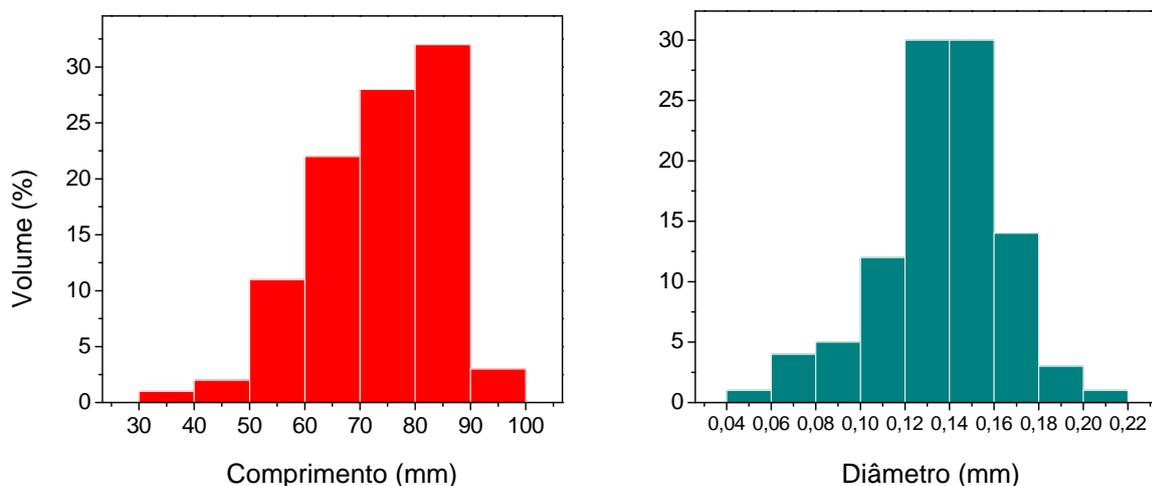


Figura 2: Distribuição estatística do comprimento e diâmetro das fibras de sisal.

Após separação, limpeza e secagem à temperatura ambiente, as fibras foram misturadas em quantidades de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% em volume com resina insaturada 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, correspondente ao comprimento final de corpos de prova.

A resina poliéster ainda líquida, acrescida de 0,5% de catalisador à base de metil-etil cetona, foi vertida sobre as fibras de sisal dentro do molde. O compósito assim formado foi deixado curar por 24 horas à temperatura ambiente. As 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 Izod, de acordo com a norma ASTM D256.

Os corpos de prova foram ensaiados em um pêndulo da marca PANTEC em configuração Izod, pertencente ao LAMAV da UENF. A energia de impacto foi obtida em martelos com potência de 7,5 J, para compósitos de 0, 5, 10 e parte de 15% de fibra; 15 J para parte de 15 e 20% de fibra; 25 J para 25% de fibra; 50 J para 30% de fibra. Para cada condição, referente a uma certa fração de fibras, 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

modelo SSX-550 Shimadzu, pertencente ao LAMAV da UENF, operando com elétrons secundários em uma tensão de aceleração de 15 kV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados dos valores da energia de impacto Izod com respectivos desvios padrão para o poliéster puro e os compósitos com diferentes frações volumétricas de fibras de sisal.

Tabela 1: Energia de Impacto Izod para compósitos poliéster reforçados com fibras de sisal

Porcentagem de Fibra de Sisal	Energia (J/m)
0	26,9 ± 5,5
5	176,6 ± 47,0
10	429,8 ± 174,7
15	685,2 ± 151,2
20	1085,0 ± 201,1
25	1578,3 ± 468,5
30	2956,0 ± 852,3

Baseado nos resultados da Tabela 1, a variação da energia de impacto Izod com a fração de fibra de sisal está mostrado na Figura 3, juntamente com o melhor ajuste matemático para a curva.

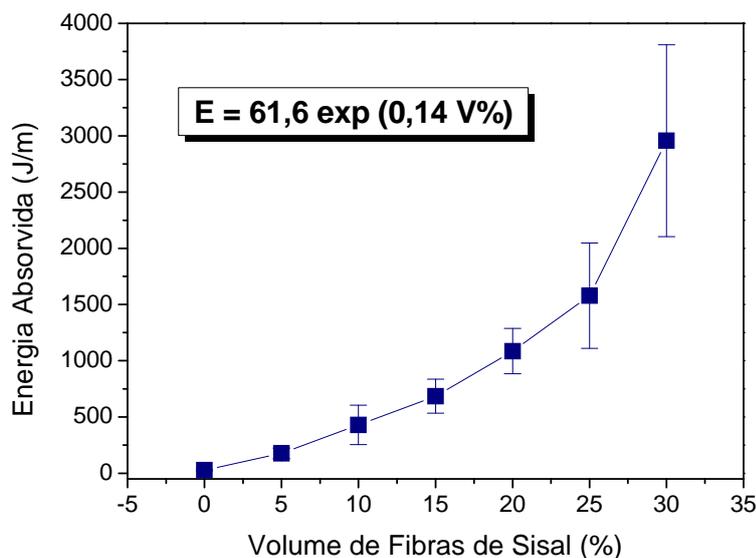


Figura 3: Energia de impacto Izod em funções da fração volumétrica de fibras de sisal em compósito poliéster.

Nesta figura deve ser notado que a incorporação da fibra de sisal na matriz poliéster aumenta de maneira significativa a tenacidade ao entalhe Izod do compósito. Considerando-se os desvios padrão, este aumento é exponencial até o máximo de 30% para a fração de fibra de sisal. Vale lembrar que a dispersão relativamente grande dos valores, dada pelas barras de erro, é devida a característica heterogênea reconhecida pelas fibras lignocelulósicas.⁽²⁰⁾ Os valores mostrados na Figura 3 são consistentes com resultados relatados na literatura tanto para fibras

sintéticas⁽²¹⁾ quanto para fibras lignocelulósicas,⁽²²⁻²³⁾ nos quais a incorporação de fibras aumenta substancialmente a tenacidade da matriz polimérica nos compósitos.

A Tabela 2 compara valores da energia de impacto Izod para compósitos poliméricos com diferentes fibras lignocelulósicas. Nesta tabela nota-se a grande tenacidade dos compósitos de sisal/poliéster do presente trabalho relativamente a outros resultados até agora obtidos.

Tabela 2: tenacidade ao entalhe Izod de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais

Compósito Fibra/Polímero	Fração de fibra (%)	Energia Absorvida Impacto Izod (J/m)	Referência
Sisal/Poliéster	30 (alinhada)	2956	Este artigo
Rami/Poliéster	30 (alinhada)	538	(24)
Coco/Poliéster	30 (alinhada)	121	(25)
Curauá/Poliéster	30 (alinhada)	190	(26)
Coco/Polipropileno	30 (curta e aleatória)	46	(27)
Juta/Polipropileno	30 (curta e aleatória)	39	(27)
Curauá/Polipropileno	30 (curta e aleatória)	54	(27)
Linho/Polipropileno	30 (curta e aleatória)	38	(27)

A Figura 4 mostra que, macroscopicamente, a incorporação da fibra de sisal acarreta um comportamento marcante em relação ao poliéster puro, 0% de fibra. Para frações de fibra de sisal de 10%, 20% e 30% (Figura 4), os corpos de prova nem sequer foram rompidos no impacto. Isto se deve à elevada resistência à tração da fibra de sisal, 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 o martelo continuasse sua trajetória e a parte superior dobrada do corpo de prova permanecesse ligada a outra parte sem separar-se. Neste caso, o resultado da energia de impacto Izod não pode ser comparado com outros em que o corpo de prova é totalmente rompido e separado. Entretanto, a não ocorrência de ruptura no impacto indica uma elevada tenacidade do compósito já que, caso ocorresse à ruptura, a energia absorvida seria ainda superior.

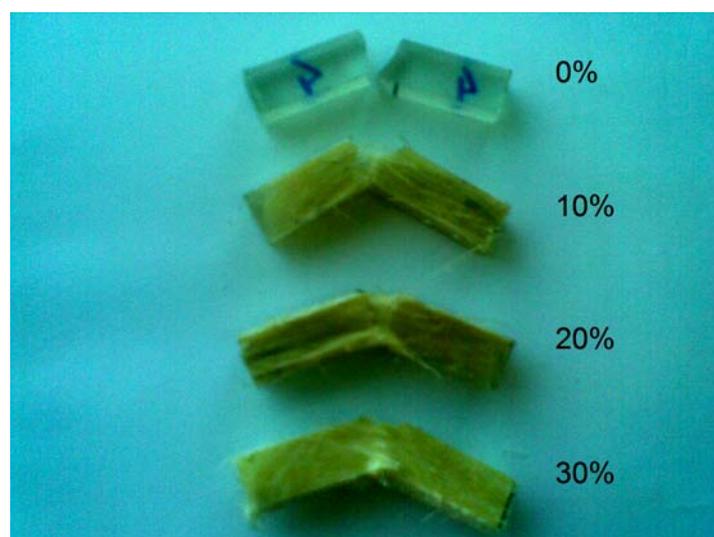


Figura 4: Aspectos macroestruturais da ruptura por impacto Izod de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações volumétricas de fibras de sisal.

A análise da microestrutura por MEV na região de fratura resultante do impacto Izod permitiu melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pela elevada tenacidade dos compósitos reforçados com fibras de sisal.

Em relação à resina pura (Figura 5), o aspecto da fratura é típico do poliéster. A Figura 5(a) tem-se uma faixa lateral a direita mais marcada e escura, correspondente ao entalhe feito pela fresa. A parte da esquerda, mais lisa e clara, corresponde à fratura transversal por impacto. A Figura 5(b) apresenta por MEV aspectos gerais da superfície rompida por impacto Izod de um corpo de prova com fração de 30% em volume de fibras de sisal reforçando matriz poliéster. Nesta figura notam-se fibras destacando-se integralmente da matriz de poliéster. Estas fibras descolaram-se da matriz pela propagação de trincas de superfícies devido à tensão interfacial relativamente baixa. A propagação de trincas longitudinais resulta em dois aspectos favoráveis à maior energia absorvida no impacto. Primeiro, a área separada longitudinalmente é maior do que a transversal através da matriz. Isto está associado a uma maior energia e conseqüentemente maior resistência ao impacto.⁽²⁸⁾ Segundo, as fibras de sisal sendo mantidas inteiras, dificultam a separação do corpo de prova em duas partes (Figura 4), contribuindo também para aumentar a resistência ao impacto.

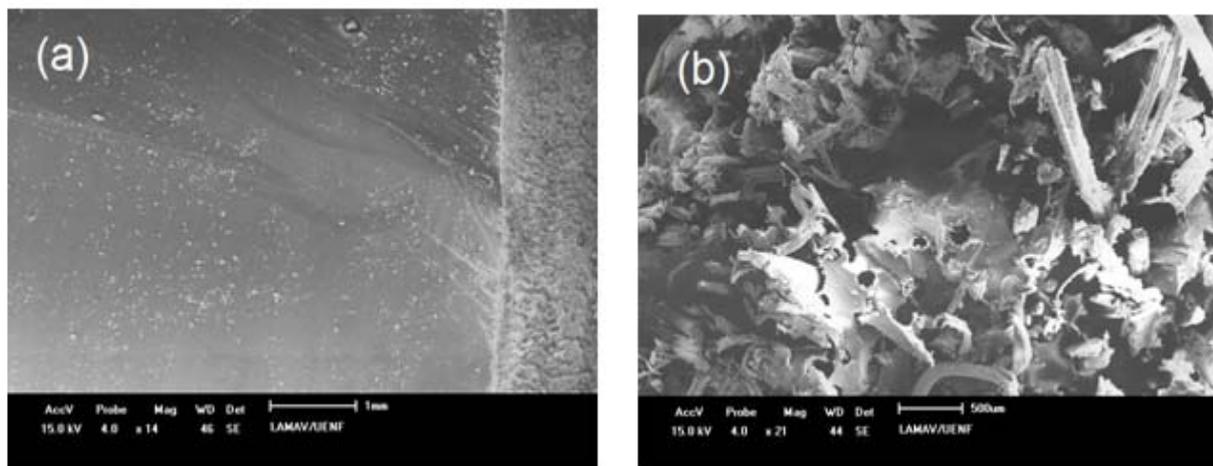


Figura 5: (a) fratura por impacto do corpo de prova de resina poliéster pura. (b) fratura por impacto do corpo de prova do compósito com fração de 30% em volume de fibra de sisal.

4 CONCLUSÕES

- Compósitos constituídos de fibras contínuas e alinhadas de sisal reforçando matriz poliéster, curada à temperatura ambiente, apresentam um aumento exponencial na tenacidade ao entalhe, medida em ensaios de impacto Izod, em relação à resina poliéster pura.
- Nestes compósitos, para a fração de fibra incorporada fração de até 30% em volume, atinge-se as mais altas tenacidades já registradas em fibras lignocelulósicas. Parte deste aumento na tenacidade é devido à baixa tensão interfacial entre a fibra de sisal e a resina poliéster.
- Juntamente com a manutenção de algumas fibras de sisal inteiras após o impacto, a baixa tensão interfacial acarreta maior energia absorvida 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.



Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ, CNPq, CAPES e FENORTE/TECNORTE pelo suporte financeiro e bolsas concedidas a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. *Prog. Polym. Sci.*, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 2 NABI SAHEB, D.; JOG, J.P. Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*, v. 18, p. 351-363, 1999.
- 3 EICHHORN, S. J.; BAILLIE, C.A.; ZAFEIROPOULOS, N.; MWAKAMBO, L.Y.; ANSELL, M.P.; DUFRESNE, A. Review of current international research into cellulosic fibres and composites. *J. Mater. Science*, v. 36, p. 2107-2113, 2001.
- 4 H MARSH, G. Next step for automotive materials. *Mater. Today*, v. 6, n. 4, p.36-43, 2003.
- 5 HOLBERY, J., HOUSTON, D.; Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive application *JOM*, V. 58, p 80-86, 2006.
- 6 ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.L.; BROWN, I. Curaua fibers in automobile industry – A sustainability assessment. *J. Cleaner Production*, v. 15, p. 1032-1040, 2007.
- 7 SATYANARAYANA, K.G.; WYPYCH, F.; GUIMARÃES, J.L.; AMICO, C.S.; SYDENSTRICKER, T.H.D.; RAMOS, L.P. Studies on natural fibers of Brazil and green composites. *Met. Mater. Proc.*, v. 17, n. 3-4, p. 183-194, 2005.
- 8 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.
- 9 SILVA, A.L.V.; OLIVEIRA, I.F.; COSTA, I.S.; ESTRELA, L. APAEB: Uma história de fibra, luta e subsistência. Feira de Santana, BA: Editora Feira de Santana, 1993.
- 10 PAIVA, J.M.F.; FROLLINI, E. Unmodified and modified surface sisal fibers as reinforcement of phenolic and lignophenolic matrices composites: thermal analyses of fibers and composites. *Macromol Mater Eng.*, v. 291, p. 405–417, 2006.
- 11 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, n. 2, p. 171-205, 2002.
- 12 . 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.
- 13 MISHRA, S.; MOHANTY, A.K.; DRZAL, L.T.; MISRA, M.; HINRICHSEN G. A review on pineapple leaf fibers, sisal fibers and their composites. *Macromol. Mater. Eng.*, v. 289, p. 955–974, 2004.
- 14 HULL, D.; CLYNE, T.W. *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge: Cambridge Univers. Press, 1981.
- 15 AGARWAL, B.D.; BROUTMAN, L.J. *Analysis and Performance of Fiber Composites*, Nova York: John Wiley & Sons, 1990
- 16 ASHBEE, K.H.G. *Fundamental Principles of Fiber Reinforced Composites*, Lancaster: Technomic Pub.Co. Inc., 1993.
- 17 CHAWLA, K.K. *Composite Materials*, New York: Springer–Verlag, 1993.
- 18 CALLISTER Jr., W.D. *Materials Science and Engineering – An Introduction*, 5^a Edição, Nova York : John Wiley & Sons, 2000.
- 19 NAIR, K.C.M.; DIWAN, S.M.; THOMAS, S. Tensile properties of short sisal fiber reinforced polystyrene composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, v.60, n. 9, p. 1483-1497, 1996.
- 20 CROCKER, JR., “Natural materials innovative natural composites”. *Materials Technology*, v.2-3, p.174-178, 2008.



- 21 S.Y. FU, B. LAUKE, E. MÄDER, X. HU and C.Y. YUE, "Fracture resistance of short-glass-fiber-reinforced and short-carbon-fiber-reinforced poly-propylene under charpy impact load and dependence on processing", *J. Mater. Process. Technol.*, v.89-90, p.501-507, 1999.
- 22 S.N. MONTEIRO, R.C.M.P. AQUINO, F.P.D. LOPES, E.A. CARVELHO and J.R.M. D'ALMEIDA, Tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. *Rev. Mater.*, v.11, p.204-210, 2006.
- 23 INÁCIO, W. P., LOPES, F. P. D., MONTEIRO, S. N., Charpy toughness behavior of continuous sisal fiber reinforced polyester matrix composites, In: Mineral, Metals & Materials Characterization symposium – TMS conference, Seattle, EUA, março 2010. P 1-8.
- 24 MONTEIRO, S.N.; MARGEM, F.M.; SANTOS JR., L.F.L.; Ensaio de impacto Izod em compósitos poliméricos reforçados com fibras de rami. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciencia dos Materiais, CBECIMAT 2008, Porto de Galinhas, PE, Novembro, 2008, p. 1-12.
- 25 MONTEIRO, S.N.; COSTA, L.L.; LOPES, F.P.D.; TERRONES, L.A.H. Characterization of the impact resistance of coir fiber reinforced polyester composites, In: Mineral, Metals & Materials Characterization Symposium – TMS Conference, New Orleans, LA, USA, Março, 2008, p. 1-6.
- 26 MONTEIRO, S.N.; FERREIRA, A.S.; LOPES, F.P.D. Izod impact energy of polyester matrix composites reinforced with aligned curaua fibers. In: Mineral, Metals & Materials Characterization symposium – TMS Conference, San Francisco, EUA, Março 2009. p. 1-8.
- 27 LEÃO, A.L.; TAN, I.H.; CARASCHI, J.C. Curaua fiber – A tropical natural fiber from Amazon – Potential and applications in composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPOSITES, Hurghada, Egito, Maio, 1998, p. 557-564.
- 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.