

CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO CHARPY DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADA COM FIBRAS DE COCO¹

Lucas Lopes da Costa²

Sergio Neves Monteiro³

Helvio Pessanha Guimarães Santafé Júnior⁴

Felipe Perissé Duarte Lopes⁵

Luiz Fernando Lopes dos Santos Júnior⁵

Resumo

A fibra de coco vem sendo atualmente incorporada em resinas poliméricas para a fabricação de compósitos utilizados em muitos segmentos industriais, particularmente o automobilístico. Mesmo assim, inexistem investigações sistemáticas relativas à tenacidade destes compósitos reforçados com diferentes frações de fibras longas e alinhadas. No presente trabalho caracterizou-se a tenacidade ao entalhe, através da resistência ao impacto Charpy, de compósitos com matriz de poliéster reforçados com diferentes frações de fibras longas e alinhadas de coco, correspondentes a 0, 10, 20, 30 e 40% em volume. Os resultados mostraram que a tenacidade ao entalhe, medida pela energia absorvida no pêndulo de impacto, é bem superior à da matriz poliéster e, aumenta significativamente com a fração de fibra de coco. Com a introdução de fibras longas de coco, os corpos de prova dos compósitos sofreram somente ruptura parcial, o que não acarretou separação após o impacto. Análise por microscopia eletrônica de varredura da parte rompida da fratura revelou que as trincas tendem a se propagar na interface fibra/matriz, dificultando a ruptura transversal e aumentando a energia absorvida no impacto.

Palavras-chave: Fibras de coco; Ensaio Charpy; Compósito de matriz poliéster; Fractografia por MEV.

CHARACTERIZATION OF THE CHARPY IMPACT RESISTANCE OF COIR FIBER REINFORCED POLYESTER MATRIX COMPOSITES

Abstract

The coir fiber is nowadays incorporated into polymeric resins to fabricate composites that are applied in several industrial segments, particularly the car making. In spite of this, no systematic investigation exists regarding the toughness of such composites reinforced with different fractions of long and aligned coir fibers. In the present work, the notch toughness of polyester composites reinforced with long and aligned coir fiber fractions of 0, 10, 20, 30 and 40% in volume, was measured by means of Charpy impact tests. The results showed that the composites' notch toughness, associated with the pendulum hammer absorbed energy, is greater than that for the pure polyester and increases significantly with the coir fiber fraction. The introduction of long coir fibers results in partial rupture of the Charpy specimens without total separation. Scanning electron microscopy analysis of the ruptured part revealed that cracks tend to propagate through the fiber/matrix interface, interfering with a transversal rupture and increasing the absorbed energy.

Key words: Coir fiber; Charpy test; Polyester composites; SEM fractograph.

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

² *Graduando, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamago, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil. luclopes@hotmail.com*

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

⁴ *M.Sc., Doutorando, LAMAV – CCT/UENF.*

⁵ *Graduando, LAMAV – CCT/UENF.*

INTRODUÇÃO

Fibras extraídas de diversas partes do coqueiro, um tipo de palma cientificamente denominada *Cocos nucifera*, vem há séculos sendo tradicionalmente utilizadas nas regiões tropicais de muitos países africanos, sul asiáticos e latino americanos. Nas últimas décadas, esforços de pesquisa sobre estas fibras⁽¹⁻⁴⁾ estão sendo empreendidos no sentido de agregar maior valor, sobretudo àquelas fibras obtidas da casca do fruto, utilizando-as como reforço de compósitos poliméricos.⁽⁵⁻¹³⁾ Assim, compósitos de fibras mecanicamente extraídas da camada externa do coco, tanto o verde quanto o seco, são atualmente usados em painéis e estofamentos de automóveis.^(8,14,15)

Apesar de todas estas investigações científicas e tecnológicas, até agora poucas informações existem na literatura sobre a tenacidade de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. Leão, Tan e Caraschi⁽¹⁶⁾ indicaram resultados de ensaios de impacto Izod em compósitos de polipropileno com fibras curtas de coco. Embora a quantidade de fibra não tenha sido indicada, na avaliação destes autores, a resistência ao impacto Izod dos corpos de prova com entalhe foi de 45,75 J/m, e sem entalhe, de 90,34 J/m.

Trabalhos recentes^(10,12,13) avaliaram a resistência mecânica por flexão de compósitos com matriz de poliéster reforçada com fibras longas e contínuas de coco. Entretanto, na literatura ainda não existe menção a ensaios de impacto Charpy de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras longas e alinhadas extraídas da casca do coco verde. Este foi o objetivo do presente trabalho que investigou através de ensaios Charpy a tenacidade ao impacto de compósitos de poliéster com até 40% em volume de fibras de coco.

MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de coco utilizadas nesta investigação foram cedidas pela empresa Coco Verde Reciclado, que as comercializa na forma de compósitos, do tipo xaxim, para a sustentação de plantas.⁽¹⁷⁾ Uma avaliação estatística das dimensões de 100 fibras retiradas aleatoriamente do feixe de 5 kg cedido pela empresa permitiu que fossem feitas as distribuições de comprimento e diâmetro apresentadas na Figura 1. Com base nos histogramas desta figura, calculou-se um comprimento médio de 178,8 mm e um diâmetro médio de 0,28 mm para as fibras do feixe. Este valor do comprimento médio é mais de trinta vezes o comprimento crítico determinado, para fibras de coco embutidas em resina de poliéster, através de ensaios de pullout (18).

Fibras longas selecionadas do feixe inicialmente passaram por um processo de limpeza e secagem em estufa a 60°C. Em seguida, essas fibras, separadamente em quantidades de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em volume, foram colocadas de forma alinhada ao longo de toda a extensão de 125 mm de um molde retangular de aço. Por sobre as fibras, dentro do molde vazou-se resina poliéster ortoftálica ainda líquida, mas já misturada com 0,5% de catalisador à base de metil etil cetona. Compósitos assim fabricados foram deixados curar à temperatura ambiente, 25°C, por 24 horas, mantendo-se uma certa carga sobre a tampa do molde para maior eficiência na impregnação das fibras de coco pela resina poliéster.

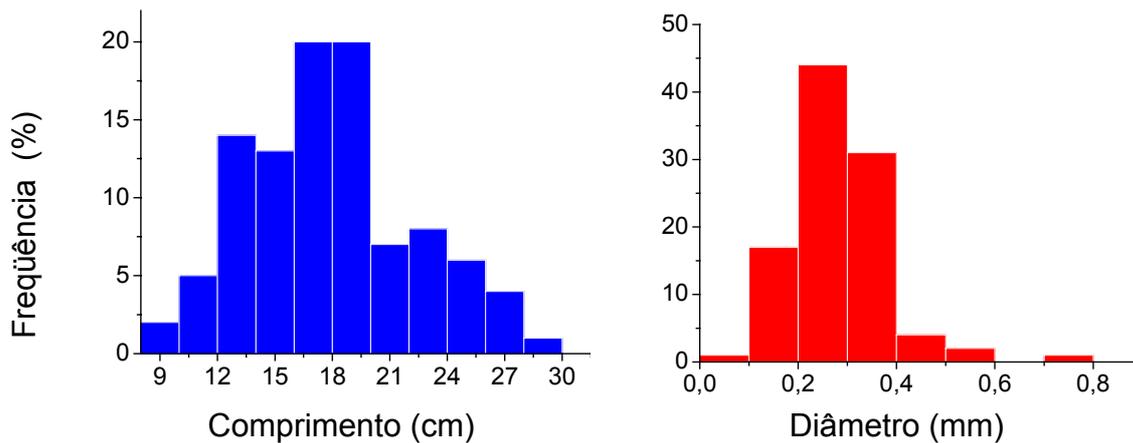


Figura 1 - Distribuição estatística do comprimento (a) e diâmetro (b) das fibras de coco.

Placas com dimensões de 125 x 152 x 10 mm, correspondentes a cada fração de fibra de coco no compósito, foram retiradas do molde e cortadas segundo a direção de alinhamento das fibras para produzir-se 10 corpos de prova de impacto Charpy, de acordo com a norma ASTM D-256, como esquematicamente mostrado na Figura 2. O entalhe em forma de V, mostrado nesta figura foi fresado com precisão, utilizando-se ferramenta especial em aço rápido.

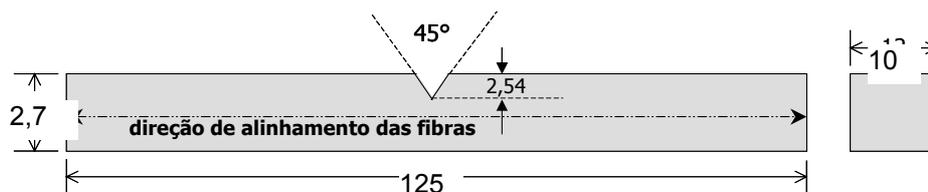


Figura 2 – Esquema do corpo de prova padrão para ensaio de impacto Charpy (dimensões em mm).

Os corpos de prova foram ensaiados em um pêndulo EMIC do Laboratório de Xistoquímica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Vale aqui comentar que, para os corpos de prova de poliéster puro utilizou-se um martelo de 2,7 J. Para os corpos de prova dos compósitos com 10%, 20% e 30% de fibra, utilizou-se um martelo de 5,4 J. Finalmente, para os corpos de prova do compósito com 40% de fibra, utilizou-se um martelo de 10,8 J, visando atender a escala de energia de impacto recomendada pela norma.

A superfície de fratura dos corpos de prova decorrente da ruptura total ou parcial após o 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. É importante mencionar que nem todos os corpos de prova sofreram ruptura total, isto é, foram separados em duas partes em consequência do impacto para qualquer potência de martelo. De qualquer forma, da parte rompida, ainda que parcialmente, cortaram-se amostras que então foram metalizadas com ouro, para observação por MEV através de elétrons secundários acelerados a 15 kV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Preliminarmente deve ser comentado que, como havia sido acima indicado, a média avaliada para o comprimento das fibras de coco de 178,8 mm, Figura 1(a) é

bem superior ao comprimento crítico obtido em ensaios de pullout (18,19) de fibra de coco/poliéster. Assim, estas fibras podem ser consideradas longas para efeito de reforço de compósito.

A Tabela 1 apresenta os resultados da energia de impacto Charpy para as diferentes frações em volume de fibras de coco nos compósitos. É importante lembrar que cada valor corresponde à média, com respectivo desvio padrão, de 10 corpos de prova.

Tabela 1 – Energia de impacto Charpy de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibra longas e alinhadas de coco.

Fração em volume das fibras de coco (% em volume)	Energia de impacto Charpy (J/m)
0	13,1 ± 1,0
10	87,0 ± 26,1
20	190,4 ± 54,5
30	241,2 ± 55,1
40	306,4 ± 76,8

Com base nos resultados da Tabela 1, a Figura 3 mostra o gráfico de variação da energia de impacto Charpy com a fração em volume das fibras longas e alinhadas de coco que reforçam compósitos de matriz poliéster.

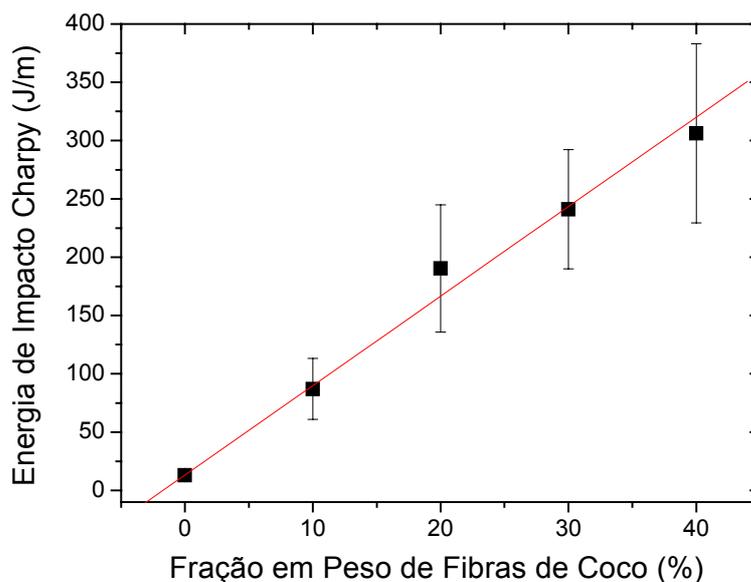


Figura 3 – Variação da energia de impacto Charpy com a fração em volume de fibras longas e alinhadas de coco.

Na Figura 3 observa-se que a incorporação de fibras longas e alinhadas de coco à matriz de poliéster aumenta consideravelmente a tenacidade dos compósitos. Dentro dos limites dos desvios padrão, este aumento é linear até o máximo de 40% de fibra que ainda foi possível introduzir no compósito mantendo-se uma boa estrutura. Com a média dos valores, calculou-se a seguinte equação entre a energia (E) e a fração em volume de fibra (F).

$$E = 7,7 F + 13,1 \quad [1]$$

Vale também mencionar que o aumento da fração de fibra acarreta maior desvio padrão para os valores de energia, Tabela 1 e Figura 3, ou seja, aumenta a dispersão dos valores de tenacidade. Este fato é reconhecido como uma consequência da heterogeneidade inerente às fibras lignocelulósicas.⁽²⁰⁾

O gráfico da Figura 3 é coerente com outros resultados, uma vez que o reforço de fibras, tanto sintética⁽²¹⁾ quanto naturais^(22,23) aumenta sensivelmente a tenacidade ao impacto de compósitos com matriz polimérica. O que surpreende no presente trabalho são os valores obtidos, como 306 J/m para reforço com 40% de fibra de coco, Tabela 1, superior aos de outros compósitos poliméricos com fibras lignocelulósicas.

Embora a fibra de coco possua baixa resistência à tração, da ordem de 90 a 180 MPa^(5,23) bem inferior a outras como a juta e o sisal, sua tensão interfacial fibra de coco/ matriz poliéster de somente 3,1 MPa favorece maior tenacidade. Yue, Looi e Quek,⁽²⁴⁾ indicam que quanto menor for a tensão interfacial entre a fibra e a matriz, mais ineficiente é a transferência de esforços no compósito. Isto implica em grandes trincas ramificadas que se propagam pela interface fibra/matriz, aumentando a área da superfície de fratura e resultando em maior energia absorvida no impacto.

Existe, além disso, outro fator que também contribui para o aumento da energia de impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas longas e alinhadas. Sugeriu-se em outra publicação⁽²³⁾ que a resistência à ruptura por dobramento destas fibras contribuiria para aumentar a tenacidade do compósito por dificultar a separação total do corpo de prova. Na verdade, os corpos de prova reforçados com fibras de coco não sofreram ruptura total após o ensaio de impacto. A mesma situação também ocorreu para compósitos de poliéster reforçados com fibras de curauá.⁽²³⁾ Este fato pode ser constatado na Figura 4, onde exemplos típicos da ruptura por impacto estão apresentados para as diferentes frações volumétricas de fibras de coco.

A incorporação de fibras de coco longas e alinhadas na matriz de poliéster, Fig. 4, interfere consideravelmente na ruptura. A partir de uma fração volumétrica de 20%, os corpos de prova já não se separam totalmente após o impacto. Ou seja, o impacto do martelo, com qualquer potência, não consegue provocar a ruptura em duas partes. A razão para esta resistência à separação é o fato das fibras de coco se dobrarem com o impacto sem, contudo, se romperem. Idêntico comportamento foi registrado no impacto de compósitos de poliéster reforçados com fibras de curauá.⁽²³⁾

Para o corpo de prova de poliéster puro, 0% na Figura 4, a ruptura após o impacto é frágil e transversal. Com somente 10% em volume de fibra de coco, a trinca iniciada no entalhe consegue propagar-se pela matriz, rompendo as poucas fibras em sua trajetória. A fratura continuará sendo frágil e transversal. A existência de maior volume de fibras longas e alinhadas de coco confere maior tenacidade ao compósito, dificultando a propagação transversal. Na verdade, para os compósitos com mais de 10% de fibras, a trinca nucleada no entalhe inicia uma propagação transversal. Entretanto, ao se defrontar com maior volume de fibras, a primeira trinca não consegue romper todas as fibras. Outras trincas são nucleadas nas fracas interfaces fibra/matriz com tendência à propagação longitudinal, rompendo esta interface. Yue, Looi e Quek⁽²⁴⁾ mostraram que uma baixa tensão cisalhante interfacial está associada à maior tenacidade. Com ruptura através das longas interfaces fibra/matriz gera-se maior área de fratura, o que corresponde à maior energia absorvida no impacto (Figura 3), isto é, maior tenacidade ao entalhe.

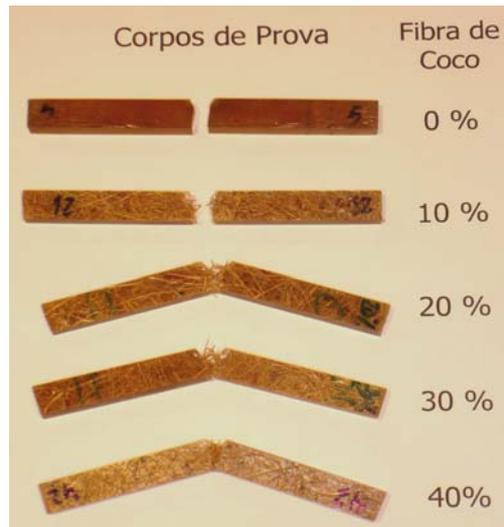


Figura 4 - Aspectos macroestruturais da ruptura por impacto Charpy de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações em volume de fibras de coco.

É importante comentar que a norma ASTM D 256 é omissa em relação a ensaios nos quais não ocorre ruptura total dos corpos de prova. Obviamente que estes casos não podem ser comparados com aqueles nos quais o corpo de prova é totalmente separado. Isto pouco influi na discussão dos resultados do presente trabalho já que os valores indicados na Tabela 1 e Figura 2 estariam subestimados por não haver tido rompimento total das fibras de coco.

Um entendimento dos mecanismos relacionados com a ruptura por impacto Charpy dos compósitos reforçados com fibras longas e alinhadas de coco pode ser obtido através de fractografias por MEV. Assim, a Figura 5 apresenta o aspecto da fratura transversal de um corpo de prova de poliéster puro após o impacto Charpy. Com menor aumento, Figura 5(a), tem-se uma faixa horizontal superior correspondente ao entalhe e abaixo, a superfície de fratura uniforme, com marcas de trinca. Com maior aumento (Figura 5(b), notam-se detalhes destas marcas de propagação da trinca pela resina poliéster.

A Figura 6 apresenta a superfície de fratura por impacto do compósito com 40% em volume de fibra de coco. Observa-se na Figura 6(a) que as fibras projetam-se da matriz de poliéster, indicando que, no processo de ruptura, outras trincas se propagaram pela interface fibra/matriz.

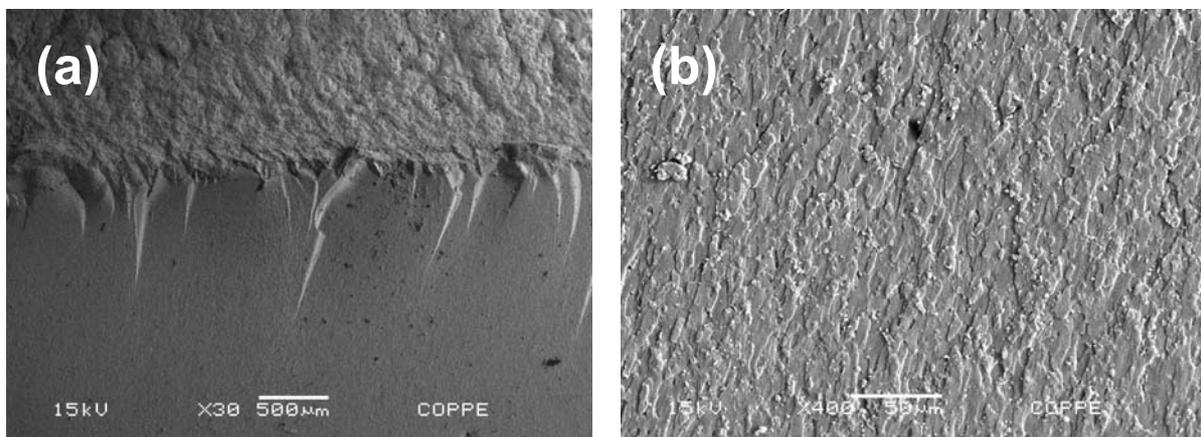


Figura 5 – Fractografia Charpy do corpo de prova de resina poliéster pura. (a) 30 x; (b) 400 x de aumento.

A Figura 6(b), com maior aumento, revela o descolamento interfacial, indicativo da propagação de trinca pela fraca interface de uma fibra de coco. A maior área de fratura nos compósitos, como consequência de trincas na interface, é o principal mecanismo⁽²⁴⁾ de aumento da tenacidade mostrado na Tabela 1 e na Figura 2.

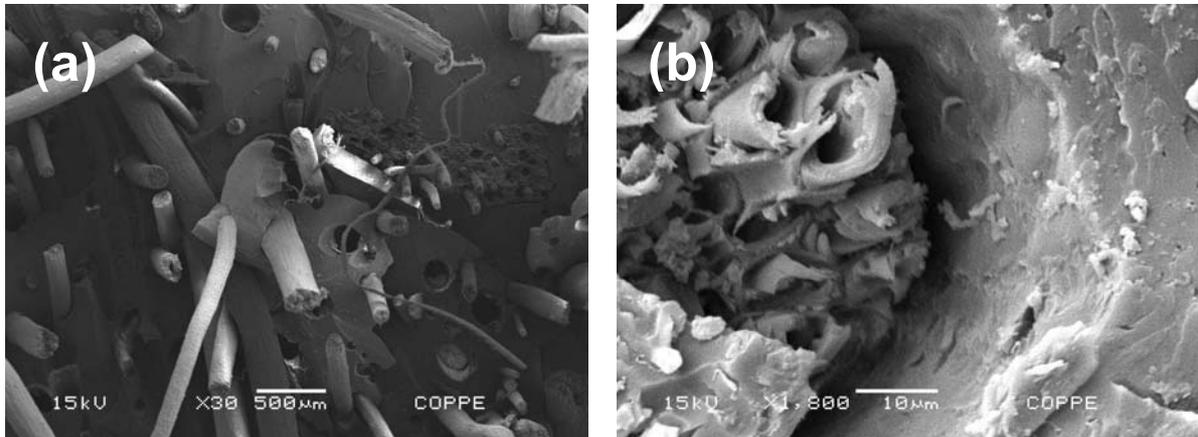


Figura 6 - Fractografia Charpy do corpo de prova de compósito com 40% em volume de fibras de coco: (a) 30 x; (b) 1800 x de aumento.

CONCLUSÕES

O reforço de fibras longas e alinhadas de coco na matriz de poliéster aumenta consideravelmente a resistência ao impacto de compósitos ensaiados em um pendulo Charpy.

Este aumento na tenacidade é, sobretudo, consequência de maior área de fratura criada por trincas que se propagaram através da fraca interface fibra/matriz.

O dobramento sem ruptura das fibras de coco que resistiram ao impacto, também contribui para o aumento da energia absorvida no ensaio e que está associada à tenacidade ao entalhe.

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS

- 1 SATYANARAYANA, K.G.; PILLAI, C.K.S.; SUKUMARAN, K.; PILLAI, S.C.K.; ROHATGI, P. K.; VIJAYAN, K. J. Structure property studies of fibres from various parts of the coconut tree, **J. Mater. Sci.**, v. 17, p. 2453–2462, 1982.
- 2 VENKATASWAMY, K.G.; PILLAI, C.K.S.; PRASAD, V.S.; SATYANARAYANA, K.G. Effect of weathering on the mechanical properties of midribs of coconut leaves, **J. Mater. Sci.**, v. 22, p. 3167–3173, 1987.
- 3 SILVA, G.G.; SOUZA, D.A.; MACHADO, J.C.; HOURSTON, D.J. Mechanical and thermal characterization of native Brazilian coir fiber. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 76, p. 1197-1206, 2000.

- 4 CALADO, V.; BARRETO, D.W.; D'ALMEIDA, J.R.M. The effect of chemical treatment on the structure and morphology of coir fibers, **J. Mater. Sci. Letters**, v. 19, p. 2151–2154, 2000.
- 5 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.
- 6 PRASAD, S.V.; PAVITHRAM, P.K.; ROHATIGI, P.K. Alkali treatment of coir fibres for coir-polyester composites. **J. Mater Sci.** v. 18, p. 1443-1454, 1983.
- 7 SATYANARAYANA, K.G.; SUKUMARAN, K.; KULKARNI, A.G.; PILLAI, S.G.K.; ROHATGI, P.K. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites. **Composites**. v. 17, p. 329–333, 1986.
- 8 HILL, C.A.S.; KHALIL, H.P.S.A. The effect of environmental exposure upon the mechanical properties of coir or palm fiber reinforced composites. **J. Appl Polym. Sci.** v. 77, p 1322–1330, 2000.
- 9 ROUT, J.; MISRA, M.; TRIPATHY, S.S.; NAYAK, S.K.; MOHANTY, A.K. The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. **Comp. Sci. Technol.** v. 61, p. 1303 – 1310, 2001.
- 10 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J.R.M. Mechanical Strength of Polyester Matrix Composites Reinforced with Coconut Fiber Wastes, **Rev. Mater.**, v.10(4), p.571-576, 2005.
- 11 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(3-4), p. 183-194, 2005.
- 12 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J.R.M., Structural characteristics and properties of coir fiber wastes reinforced polymeric composites, In: III INTERNATIONAL CONGRESS ON MATERIALS, Cartagena, Colombia, 2005, p. 1-6.
- 13 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. **Rev. Mater.** v. 11(4), p.395-402, 2006.
- 14 www.poematec.com.br, Acesso em: 07 fev. 2008.
- 15 http://www.mecanicaonline.com.br/2005/01_janeiro/engenharia/daimler_chrysler_meio_ambiente.htm, Acesso em: 07 fev. 2008.
- 16 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.
- 17 <http://www.cocoverderj.com.br/> , Acesso em: 07 fev. 2008.
- 18 MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Ensaio de pullout em fibras lignocelulósicas - Uma metodologia de análise. **Rev. Mater.** v. 11(3), p. 189-196, 2006.
- 19 MONTEIRO, S.N.; DE DEUS, J. F.; AQUINO, R.C.M.P.; D'ALMEIDA, J.R.M. Pullout Tests of Coir Fibers to Evaluate the Interface Strength in Polyester Composites, In: CHARACTERIZATION OF MINERALS, METALS & MATERIALS TMS CONFERENCE, 2006, San Antonio, EUA, 1 CD, p. 1-8.
- 20 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. **Prog. Polym. Sci**, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 21 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.
- 22 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, n. 3, p. 204-210, 2006.
- 23 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.
- 24 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.