



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM COMPÓSITO LAMINADO HÍBRIDO COCO/VIDRO

Rosana Vilarim da Silva, rosanavilarim@yahoo.com.br
Mariana Xavier Milagre, marianamilagre@yahoo.com.br
Caruline de Souza Carvalho Machado, caruline_kru@hotmail.com
André Itman Filho, andrei@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo -IFES
Av. Vitória, 1729 – Jucutuquara, 29040-780 – Vitória-ES

Resumo: *O aproveitamento da casca de coco verde vem sendo estudado há anos no intuito de reduzir o grave problema ambiental causado pelo seu descarte inadequado, principalmente nas cidades litorâneas. Da casca do coco pode-se extrair a fibra de coco que tem ampla utilização na fabricação de capachos, sacos, escovas, redes, estofamentos, etc. A utilização da fibra de coco em compósitos poliméricos vem sendo investigada já há algum tempo. No entanto, o baixo desempenho mecânico da fibra de coco limita a utilização destes compósitos em elementos estruturais; normalmente são utilizados para carregamentos leves ou em aplicações funcionais. O desenvolvimento de compósitos híbridos, combinando fibras sintéticas e naturais, apresenta-se como uma alternativa para ampliar as possíveis aplicações destes compósitos. Este trabalho relata o desenvolvimento e a caracterização do comportamento mecânico de um compósito híbrido formado por uma matriz de resina poliéster reforçada por fibras de coco e vidro. O compósito é um laminado de 5 camadas (3 camadas de mantas de fibras de vidro-E intercaladas com duas camadas de mantas de fibras de coco), fabricado pela técnica de moldagem manual. Foi realizado um estudo comparativo das propriedades mecânicas em tração do laminado híbrido e de um laminado unicamente com fibras de vidro com mesmo número de camadas. O compósito laminado híbrido mostrou-se um promissor substituto aos compósitos com fibras de vidro.*

Palavras-chave: *Compósito híbrido, fibras de coco, fibras de vidro, comportamento mecânico.*

1. INTRODUÇÃO

A água-de-coco verde, uma bebida bem apreciada em todo o país, vem despontando como um produto bastante promissor no mercado brasileiro, com crescimento de mercado estimado em 20% ao ano (FAO, 2010). Com o aumento do consumo cresce também a quantidade de cascas de coco que geralmente são descartadas de forma inadequada servindo de foco de proliferação de doenças. Várias pesquisas para o aproveitamento da casca do coco verde vem sendo realizadas com algumas aplicações já bem estabelecidas.

Um dos principais produtos da casca do coco são as fibras, obtidas do mesocarpo, a parte espessa fibrosa. Se comparada a outras fibras vegetais, a fibra de coco apresenta baixo teor de celulose e alto teor de lignina e polioses (Silva, 2003, Harish et al., 2009; Geethamma et al., 1998). As fibras de coco têm ampla utilização na fabricação de capachos, sacos, redes, mantas, telas para proteção do solo, painéis para isolamento acústico, etc. Outro setor de destaque é a indústria da borracha que utiliza a fibra de coco na confecção de solados de calçados, encostos de bancos de carros, estofamentos e colchões. A produção anual nacional de fibra de coco é superior a 7 mil toneladas, sendo que isto representa o uso de apenas uma pequena parcela do total de 900 milhões de cocos anualmente cultivados no país (FAO, 2010). Os principais produtores nacionais são os estados de Alagoas, Sergipe e Bahia.

Uma aplicação mais recente da fibra de coco é na formulação de compósitos poliméricos. São encontradas na literatura várias referências sobre a utilização da fibra de coco na formulação de compósitos com diversos polímeros; destaque para o polipropileno e as resinas poliéster e epóxi (Cicala et al., 2009; Haque, 2009; Huang, 2009; Silva, 2006; Monteiro et al., 2008). Compósitos reforçados com fibras naturais apresentam boa rigidez dielétrica e melhor resistência ao impacto se comparado ao polímero puro, além de características de isolamento térmico e acústico (SBRT, 2009). Além de agir como agente de reforçamento da matriz polimérica a fibra aumenta a capacidade de biodegradação do compósito.

Quando comparados aos compósitos com fibras sintéticas as vantagens são: baixo custo, baixa densidade, altas propriedades específicas, etc (Silva, 2003). As principais limitações são a baixa resistência à umidade, devido à natureza hidrófila das fibras naturais, e um desempenho mecânico pobre. Estes problemas restringem a sua utilização em aplicações mais nobres.

Uma alternativa para suprir esses problemas é a formulação de compósitos híbridos, combinando fibras sintéticas e naturais. Uma boa opção para a hibridização é a combinação da fibra natural com a fibra de vidro. Pequenas adições de fibras de vidro podem aumentar significativamente as propriedades mecânicas e reduzir a absorção de umidade dos compósitos sem comprometer o seu custo final (Thwe, 2002 e Silva, 2009).

Dentro deste contexto o objetivo principal do trabalho é encontrar novas alternativas para o aproveitamento da fibra do coco verde. O trabalho consiste no desenvolvimento de um compósito laminado híbrido formado por uma resina poliéster ortoftálica reforçada por fibras de coco e vidro. A opção pela fabricação do compósito na forma de um laminado visa aplicações estruturais, tais como, painéis e reservatórios. Sendo assim, foi realizado um estudo comparativo do comportamento mecânico em tração do laminado híbrido e de um laminado unicamente com fibras de vidro com mesmo número de camadas. Foi também realizada uma análise das características da fratura dos corpos de prova ensaiados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O compósito tem a forma estrutural de um laminado com um total de cinco camadas. Como matriz foi utilizada a resina poliéster ortoftálica, bastante comum na indústria do plástico reforçado. O material de reforço consiste de fibras de vidro-E e fibras de coco. As fibras de vidro-E (manta de fibras curtas com 450 g/m^2) e as fibras de coco foram adquiridas no comércio local de Cariacica-ES.

Para a preparação das mantas de fibras de coco, estas foram dispostas aleatoriamente em um molde de granito (32 x 32 cm) e prensadas com o próprio peso do molde. O peso médio de cada camada foi de 17,42 g e o comprimento médio das fibras foi de 16,7 cm. Vale salientar que as fibras foram utilizadas “in natura”, sem qualquer tratamento prévio, no intuito de não adicionar novos custos à produção do laminado.

2.2. Fabricação dos laminados compósitos

Os laminados foram fabricados utilizando a técnica de moldagem manual (hand lay-up). Foram fabricados dois laminados, um unicamente com fibras de vidro e um outro híbrido com fibras de vidro e coco. O primeiro é formado por cinco camadas de mantas de fibras de vidro. O segundo é formado por três camadas de mantas de fibras de vidro intercaladas com duas camadas de fibras de coco.

A laminação foi realizada em um molde de granito que consiste basicamente em duas placas quadradas com 32 cm de largura. Uma das placas serve como base para a laminação e a outra para compressão do laminado o que garante uma melhor uniformidade na espessura. A desmoldagem foi realizada após um mínimo de 24 horas. Com o objetivo de eliminar possíveis descontinuidades e mau acabamento (variações na espessura e defeitos de fabricação), foi retirado 5 cm de material nas laterais de todas as placas.

A dimensão final dos laminados foi de 32 x 32 cm com $0,43 (\pm 0,3)$ cm de espessura para o laminado de fibra de vidro e $0,48 (\pm 0,2)$ cm de espessura para o laminado híbrido. A configuração do laminado híbrido está esquematizada na Fig. (1), na qual também é mostrada uma foto do mesmo.

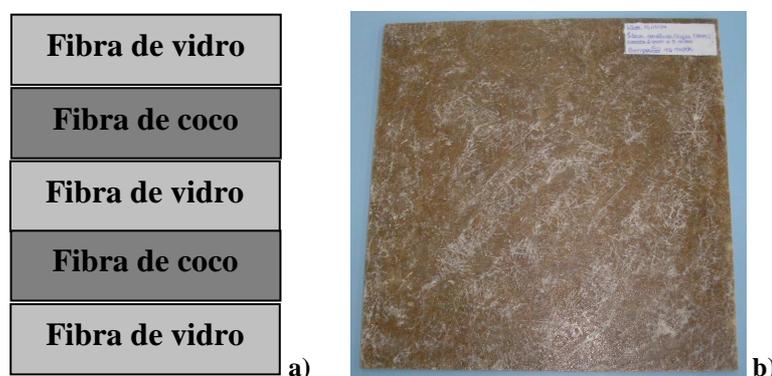


Figura 1. a) Esquema da configuração do laminado híbrido. b) Placa do laminado híbrido

A configuração escolhida para o laminado híbrido se deve, em parte, ao processo de fabricação. A utilização de mantas de fibras de vidro nas camadas externas além de facilitar o processo de laminação assegura uma espessura mais uniforme ao laminado. Outros aspectos importantes estão relacionados com a simetria do laminado, com o tipo de

carregamento a ser utilizado (tração), e também com a função de barreira exercida pelas fibras de vidro protegendo as fibras de coco da ação do ambiente.

2.3. Determinação do Teor dos Constituintes

A determinação do teor dos constituintes foi feita segundo a norma ASTM D3171-99 (processo G, matriz calcinada em mufla). Neste ensaio, as amostras previamente pesadas, são levadas a um forno na temperatura de aproximadamente 550 °C por 3 horas. Nesta temperatura a resina é queimada restando apenas fibras de vidro. Após a queima, faz-se o resfriamento em dissecador e uma nova pesagem é efetuada. Calcula-se a massa real de compósito que entra na mufla e a massa de fibra de vidro (único constituinte que resta após a queima). Utilizando as massas obtidas e a densidade teórica da fibra de vidro (2,6 g/cm³) e da resina poliéster (2,6 g/cm³), calcula-se o teor dos constituintes (fração em volume).

2.4. Ensaio de Tração

Os corpos de prova para os ensaios de tração foram usinados das placas dos laminados. As laterais dos mesmos foram lixadas e polidas pelas técnicas comuns de metalografia. As dimensões dos corpos de prova e as especificações de execução de ensaio seguiram a norma ASTM D3039-00. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25°C), em uma máquina universal de ensaios Emic. Após os ensaios mecânicos foi realizada uma análise das características da fratura nos corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teor dos Constituintes

Os resultados do ensaio de calcinação são apresentados na Tab. (1). As frações volumétricas de fibra de vidro e vazios do laminado de fibra de vidro são condizentes com a técnica de laminação manual. No caso do compósito híbrido o ensaio permite apenas a determinação da fração de fibra de vidro, pois a fibra de coco é queimada juntamente com a resina, impedindo também a determinação da fração de vazios e de matriz. Obviamente, a fração volumétrica de fibras de vidro no compósito híbrido é menor que no compósito de fibra de vidro.

A presença de vazios é um dos grandes problemas na fabricação dos compósitos e depende primariamente do processo de fabricação. Um excelente operador consegue valores em torno de 7%. A Figura 2 apresenta uma vista lateral (espessura) do laminado híbrido na qual se observam alguns vazios. Constatou-se que a quantidade de vazios foi maior no laminado híbrido, o que não foi surpresa tendo em vista a maior dificuldade de laminação. Algumas técnicas, como a compressão durante a cura, tal como utilizada neste trabalho, diminuem a formação dos vazios.

Tabela 1. Fração volumétrica dos constituintes (%).

Compósito	Fração de fibra de vidro	Fração de matriz	Fração de vazios
Fibra de vidro	29,8	60	10
Híbrido (vidro e coco)	22,8	-	-

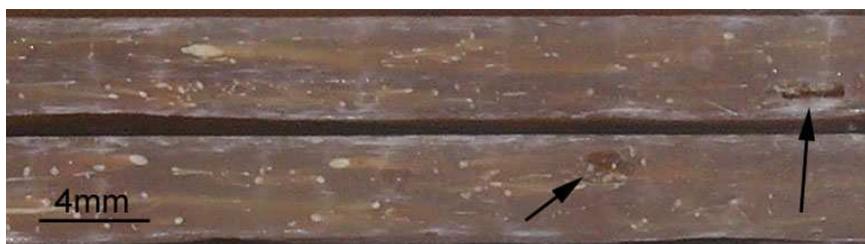


Figura 2. Vista lateral (espessura) do laminado híbrido. As setas indicam a presença de vazios.

3.2. Ensaio de Tração

A Figura 3 mostra duas curvas, *Tensão x Deformação*; uma para o compósito híbrido e outra para o compósito com fibras de vidro. Estas curvas representam os valores médios (curvas médias) obtidos nos referidos ensaios.

O compósito com fibra de vidro apresentou um comportamento linear até a fratura; típico da maioria dos compósitos com matrizes termofixas e fibras sintéticas. No caso do laminado híbrido o comportamento linear prevalece até cerca de 65% da tensão máxima, quando então se observa um ligeiro desvio da linearidade indicando certa ductilidade, o que constitui uma vantagem. Estas informações são importantes para a determinação do módulo de elasticidade, que deve ser tomado até cerca de 50% da carga máxima de modo que os eventos de falha, como o

trincamento da matriz e descolamento de fibras, não interfiram na medida. Vale observar que mesmo com a associação de fibras naturais e sintéticas, com características e propriedades tão diferentes, o comportamento das curvas se aproxima. De fato, o comportamento geral está mais próximo do comportamento da matriz, uma resina termofixa de natureza frágil e com fração volumétrica muito superior às fibras.

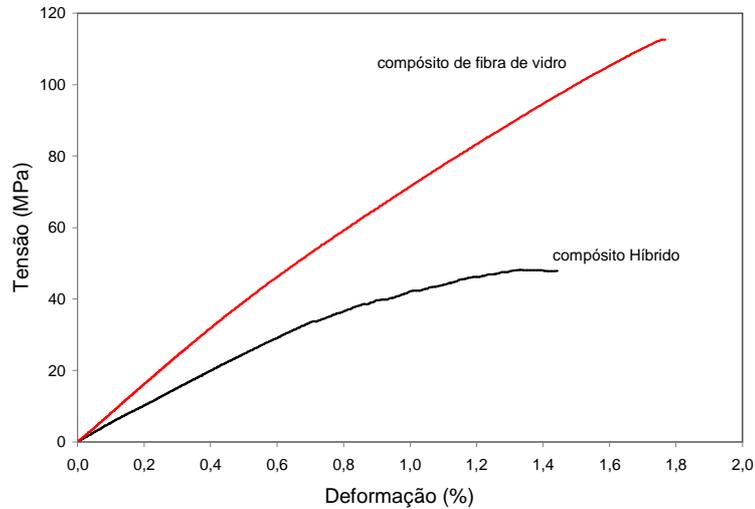
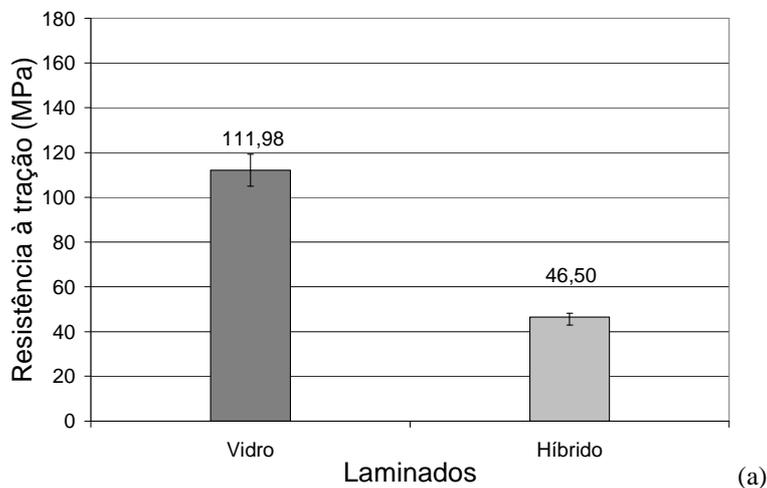


Figura 3. Curvas (Tensão x Deformação), representativas dos compósitos laminados híbrido e de fibra de vidro.

As propriedades mecânicas em tração, módulo de elasticidade, resistência à tração e alongamento, são apresentadas na Fig. (4). Como esperado, o desempenho do laminado híbrido foi inferior ao do laminado de fibra de vidro. Houve redução de 58% na resistência à tração, 36% no módulo de elasticidade e 27% no alongamento. Este comportamento está relacionado à presença de vazios, que agem como concentradores de tensão e reduzem as propriedades mecânicas principalmente no carregamento trativo. Além, obviamente, das propriedades mecânicas da fibra de coco que são inferiores às fibras de vidro (Huang, 2009; Levy Neto. et al., 2006). É interessante observar o baixo alongamento para ambos os compósitos que advém do seu alto módulo elástico e do comportamento frágil da matriz.



(a)

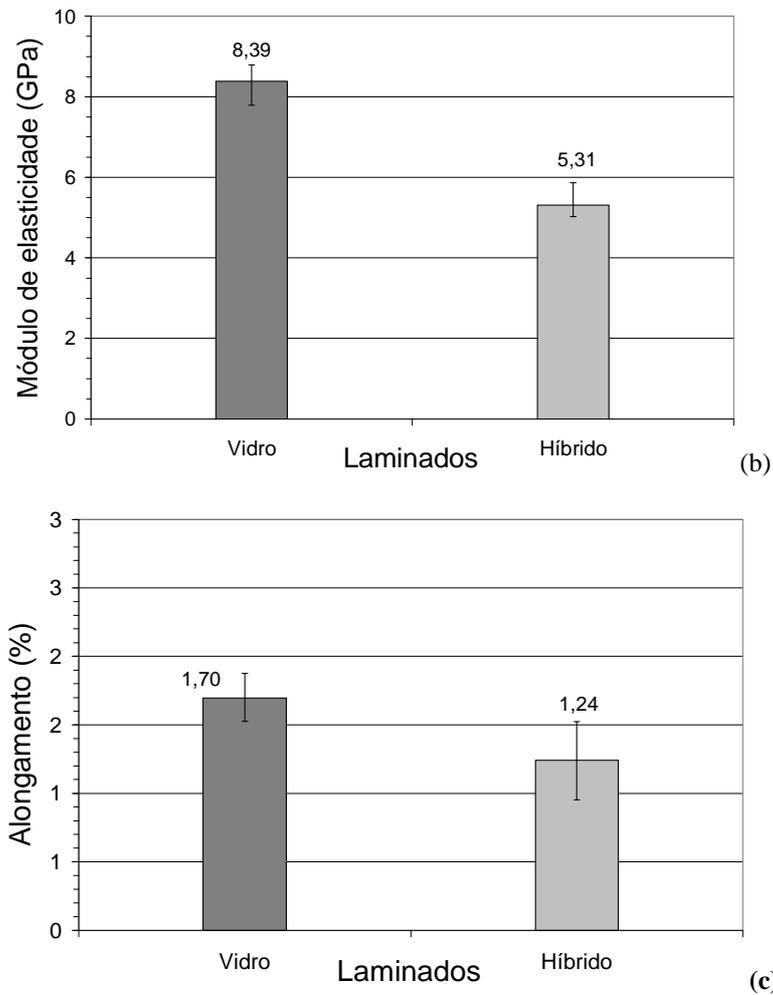


Figura 4. Propriedades mecânicas em tração dos laminados híbrido e de fibra de vidro.

3.3. Análise das Características da Fratura

Na Figura 5 são apresentados dois corpos de prova pós-ensaio dos laminados de fibras de vidro e híbrido, respectivamente. Em ambos observa-se que a fratura foi bastante localizada, permanecendo o corpo de prova íntegro nas regiões distantes da mesma. Não houve delaminação entre as camadas, o que mostra que há uma boa aderência entre as camadas de fibras de vidro e coco apesar da forte discrepância entre as propriedades mecânicas de cada camada. Este comportamento está relacionado com a configuração do compósito e distribuição das tensões interlaminares (entre camadas). O laminado de fibra de vidro também não apresentou delaminação entre as camadas.

A Figura 6 mostra, em detalhe, a região de fratura dos dois laminados compósitos. O laminado de fibra de vidro, Fig. (6a), apresentou uma fratura mais frágil; os corpos de prova romperam completamente em duas partes. No caso do laminado híbrido, Fig. (6b), as partes permaneceram ligadas após a fratura.



Figura 5. Corpos de prova após o ensaio de tração. a) laminado de fibra de vidro. b) laminado híbrido.

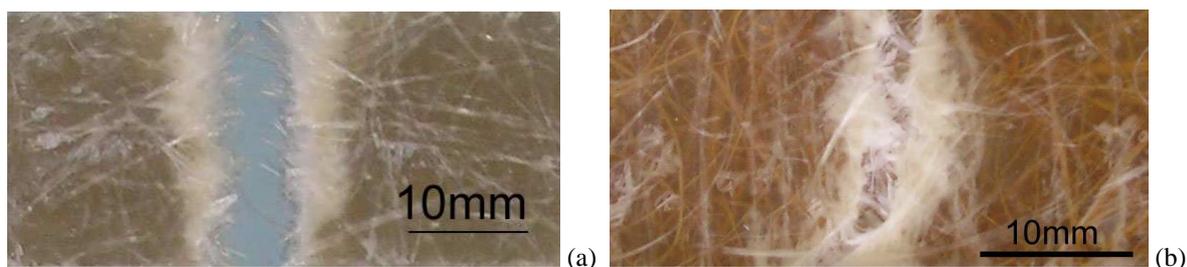


Figura 6. Detalhe da região de fratura. a) laminado de fibra de vidro. b) laminado híbrido.

A Figura 7 mostra uma vista lateral da região de fratura do laminado híbrido na qual observam-se fibras de coco interligando a fratura, gerando o efeito de ponte de fibra. A fibra descola da matriz e escorrega interligando as duas partes do corpo de prova. Neste caso, o escorregamento indica fraca aderência entre fibra e matriz, o que já era esperado, tendo em vista que as fibras foram utilizadas “in natura”, sem qualquer tratamento. Além disso, o maior comprimento da fibra de coco (17,6cm) comparado à fibra de vidro (\cong 5cm), contribui para este efeito. A maior ductilidade do laminado híbrido, tal como comentado no item 3.2, está provavelmente relacionada ao efeito de ponte de fibras.

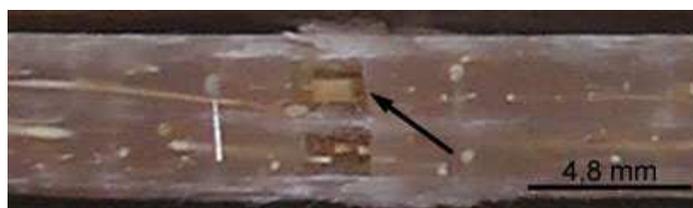


Figura 7. Vista lateral (espessura) da região de fratura do laminado híbrido. A seta indica uma fibra de coco interligando as duas partes do corpo de prova.

4. CONCLUSÕES

As propriedades mecânicas em tração do laminado híbrido foram inferiores ao do laminado de fibra de vidro. Isto ocorreu devido os defeitos de fabricação, principalmente vazios, e as propriedades mecânicas inferiores da fibra de coco.

Na análise das curvas Tensão x Deformação foi observado um comportamento linear para o laminado de fibra de vidro, indicando comportamento completamente frágil. Já o laminado híbrido apresentou ligeiro desvio de linearidade indicando certa ductilidade.

O estudo das características da fratura corroboram com a análise das curvas Tensão x Deformação. A maior ductilidade do laminado híbrido deve-se ao efeito de descolamento e escorregamento da fibra de coco, que é um indicativo de fraca aderência interfacial fibra/matriz.

Estes resultados abrem boas perspectivas quanto à utilização da fibra de coco em compósitos poliméricos híbridos. O trabalho continua em andamento buscando melhorar as condições de fabricação de modo a obter um produto de baixo custo e com larga aplicação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao IFES pelas bolsas de iniciação científica concedidas e ao professor Christian Mariani pela realização dos ensaios mecânicos no Laboratório de Ensaios Mecânicos destrutivos do IFES.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM D3039 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials, Philadelphia, 2006.
- ASTM D3171-99 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for constituent content of composite materials, Philadelphia, 2004.
- Cicala, G., Cristaldi, G., Recca, G., Ziegmann, G., El-Sabbagh, A., Dickert, M., 2009, “Properties and performances of various hybrid glass/natural fibre composites for curved pipes”, *Materials and Design*, vol 30, pp. 2538–2542.
- Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO). Agriculture statistical database. In: <http://apps.fao.org>. Acesso em fevereiro de 2010.

- Geethamma, V.G., Mathew, T., Lakshminarayanan, R., Thomas, S., 1998, "Composite of short coir fibres and natural rubber: Effect of chemical modification, loading and orientation of fibre", *Polymer*, vol. 39, n. 6-7, p.1483-1491.
- Haque, M., Hasan, M., Islam, S., Ali, E., 2009, "Physico-mechanical properties of chemically treated palm and coir fiber reinforced polypropylene composites", *Bioresource Technology* (article in press: www.elsevier.com)
- Harish, S., Peter Michael, D., Bensely, A., Mohan, L., Rajadurai, D.A., 2009, "Mechanical property evaluation of natural fiber coir composite", *Materials Characterization*, vol 60, pp. 44–49.
- Huang, G., 2009, "Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment", *Materials and Design*, (article in press: www.elsevier.com).
- Levy Neto, F., Pardini, L. C., 2006, "Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia", Ed. Edgard Blücher.
- Monteiro, S. N., Terrones, L. A. H., D'Almeida, J.R.M., 2008, "Mechanical performance of coir fiber/polyester composites", *Polymer Testing*, vol 27, pp. 591– 595.
- SBRT - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. In: <http://www.sbrt.ibict.br> (acesso em 05/2009).
- Silva R.V., Spinelli, D., Bose Filho W. W., Claro Neto S., Chierice G.O., Tarpani J.R., 2006, "Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites", *Composites Science & Technology*, vol 66, pp. 1328-1335.
- Silva, R. V., Aquino, E. M. F., Rodrigues, L. P. S., Barros, A. R. F., 2009, "Curaua/Glass Hybrid Composite: The Effect of Water Aging on the Mechanical Properties", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 28, No 15.
- Silva, R.V., 2003, "Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais", Tese de D.Sc., Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais / USP, São Carlos, SP, Brasil.
- Thwe, M.M., Liao, K., 2002, "Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fibre reinforced polymer matrix hybrid composites", *Composites: Part A*, vol. 33, pp. 43-52.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores, Rosana Vilarim da Silva, Mariana Xavier Milagre, Caruline de Souza C. Machado e André Itman Filho, são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

MECHANICAL BEHAVIOR ANALYSIS OF THE HYBRID LAMINATED COMPOSITE COIR/GLASS

Rosana Vilarim da Silva, rosanavilarim@yahoo.com.br
Mariana Xavier Milagre, marianamilagre@yahoo.com.br
Caruline de Souza Carvalho Machado, caruline_kru@hotmail.com
André Itman Filho, andrei@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo -IFES
Av. Vitória, 1729 – Jucutuquara, 29040-780 – Vitória-ES

***Abstract.** The use of the green coconut shell have been studied for years focusing the reduction of the serious environmental problem caused by its improper discard, mainly in the coast cities. From the coconut shell can be extracted the coir fiber that have a larger utilization in the manufacture of mats, bags, brushes, nets, etc. The utilization of the coir fiber in polymeric composites has been investigated in the last decades. However the poor mechanical performance of the coconut fiber limits its application in composites for structural applications. Normally it is used for light stress or functional applications. The development of hybrid composites combining synthetic and natural fibers is an alternative to extend the possible applications of the natural fibers composites. This work reports the development and mechanical behavior characterization of a hybrid composite formed by polyester resin reinforced by coir and glass-E fibers. The composite is a laminated with five layers (three layers of glass-E mats merged with two layers of coir fibers) manufactured by hand lay-up technique. It was realized a comparative study between the hybrid composite and a composite just with glass-E. The study comprises tensile tests and fracture characteristics analysis. The hybrid composite showed to be a promising substitute to fiber glass composites.*

***Keywords:** hybrid composite, coconut fiber, glass fiber, mechanical behavior.*