

# DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO LAMINADO HÍBRIDO COM FIBRAS NATURAL E SINTÉTICA <sup>1</sup>

Rosana Vilarim da Silva <sup>2</sup>  
Eve Maria Freire de Aquino <sup>3</sup>  
Leonardo P. S. Rodrigues <sup>4</sup>  
Alysson R. F. Barros <sup>5</sup>

## Resumo

Compósitos poliméricos com fibras naturais vêm sendo bastante estudados nas duas últimas décadas com algumas aplicações já bem estabelecidas, principalmente no setor automotivo. No entanto, suas aplicações são limitadas pelo seu baixo desempenho mecânico e alta absorção de umidade, comparado aos compósitos com fibras sintéticas. Buscando minimizar estes problemas e ampliar o leque de aplicações, propõe-se neste trabalho desenvolver um compósito laminado híbrido associando fibras naturais (curauá) e sintéticas (vidro-E). Os laminados são de fabricação industrial (hand-lay-up) e a matriz utilizada foi a resina poliéster ortoftálica. Foi realizado um estudo comparativo das propriedades mecânicas em flexão do laminado híbrido e de dois outros laminados, um apenas com fibras de vidro e um apenas com fibras de curauá. Também foram realizados ensaios de absorção de água para os três laminados e analisada a influência da absorção nas propriedades mecânicas do laminado híbrido. As propriedades do laminado híbrido foram muito próximas do laminado de fibra de vidro, já o laminado de curauá teve um desempenho bastante inferior. Nos ensaios de absorção de água observou-se que a hibridização foi eficiente no sentido de diminuir a absorção de água do laminado de curauá. O laminado híbrido desenvolvido mostrou ser um promissor substituto para os laminados de fibra de vidro mesmo em aplicações de contato direto com água, como em reservatórios e tubulações.

**Palavras-chave:** Compósito híbrido; Fibras de curauá; Fibras de vidro; Absorção de água.

## DEVELOPMENT OF A HYBRID COMPOSITE WITH SYNTHETIC AND NATURAL FIBERS

### Abstract

Natural fiber composites are being quite studied in the last two decades with some applications consolidated mainly in the automobile industry. However, the applications are limited due to its poor mechanical properties and high moisture absorption, compared to composites with synthetic fibers. Looking for to minimize these problems and to enlarge the possible applications, the objective of this work is to develop a hybrid composite combining natural (curaua) and synthetic fibers (glass-E). The composites were manufactured by a local industry utilizing the hand-lay-up technique and orthophthalic polyester resin as matrix. A comparative study of the flexural mechanical properties among the hybrid composite and two others, one just with fiberglass and other just with curaua fibers, was accomplished. Besides, water absorption tests were carried out for all composites and it was analyzed the water absorption influence in the mechanical properties of the hybrid composite. The mechanical properties of the hybrid composite and fiberglass composite were very close, on the other hand the composite just with curaua fiber showed a quite inferior performance. The hybridization was efficient in the sense of reducing the water absorption of the composites just with curauá fibers. The hybrid composite showed to be a promising substitute for fiberglass composites even in applications of contact with water, such as in reservoirs and piping.

**Key-words:** Hybrid composite; Curaua fibers; Glassfiber; Moisture absorption.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, EESC-USP. Professora do CEFET-ES, Coordenadora do Curso de Metalurgia e Materiais, Vitória/ES. (rosanavilarim@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Industrial, Universidade Politécnica de Madrid. Professora da UFRN, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal - RN (eve@dem.ufrn.br).

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica na UFRN, Natal - RN (leonardo\_sarmiento@yahoo.com.br).

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Mecânica. Engenheiro do CTGAS - Centro de Tecnologia do Gás, Natal - RN. (alyssonregis@hotmail.com).

# 1 INTRODUÇÃO

O atual interesse nos compósitos com fibras naturais deve-se, principalmente, a crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente. Há um grande interesse na busca por fibras naturais que possam substituir adequadamente as fibras sintéticas como, por exemplo, a fibra de vidro. Compósitos com fibras naturais têm potencial para aplicação em componentes sujeitos a carregamentos leves ou moderados. As principais aplicações estão na construção civil, indústria de móveis e embalagens e no ramo automotivo.<sup>(1,2)</sup>

A maior limitação na utilização destas fibras está no seu baixo desempenho mecânico e alta absorção de umidade.<sup>(3-6)</sup> O processo de hibridização, associando fibras naturais e sintéticas, mostra-se como uma alternativa promissora para minimizar este problema. A fibra de vidro é uma boa indicação para a hibridização pois mostra uma relação favorável entre custo e desempenho mecânico. Além disso, pode atuar como barreira química prevenindo o contato das fibras naturais, hidrofílicas, com a água. Bledzik e Gassan,<sup>(7)</sup> ao estudar um compósito híbrido com fibra de vidro e fibra natural, constataram decréscimo da absorção de umidade e, por conseqüência, a dependência das propriedades mecânicas com a umidade foi reduzida. Na literatura especializada, vários trabalhos relativos a compósitos híbridos (fibra natural/fibra sintética), destacam melhoria das propriedades mecânicas, diminuição da absorção de umidade e resistência ao envelhecimento ambiental (devido a menor degradação das fibras sintéticas), em relação aos compósitos apenas com fibras naturais.<sup>(8-10)</sup>

Neste contexto, a proposta deste trabalho foi desenvolver um compósito híbrido associando fibras de vidro e curauá. Foi realizado um estudo comparativo das propriedades mecânicas em flexão do laminado híbrido e de dois outros laminados, um apenas com fibras de vidro e um apenas com fibras de curauá. Também foram realizados ensaios de absorção de água os três laminados e analisada a influência da absorção de água nas propriedades mecânicas do laminado híbrido.

A opção de utilizar a fibra de curauá deve-se ao seu bom desempenho mecânico,<sup>(11,12)</sup> e também pelo aspecto social. Sendo originária da Amazônia, a fibra de curauá mostra um alto potencial para a agricultura e o incentivo ao seu uso pode representar uma alternativa à exploração da floresta tropical. Pequenas propriedades no estado do Pará já cultivam a fibra de curauá que é vendida para empresas do setor automotivo e utilizada na fabricação de alguns itens dos veículos (teto e tampa de bagageiro, por exemplo).<sup>(13)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

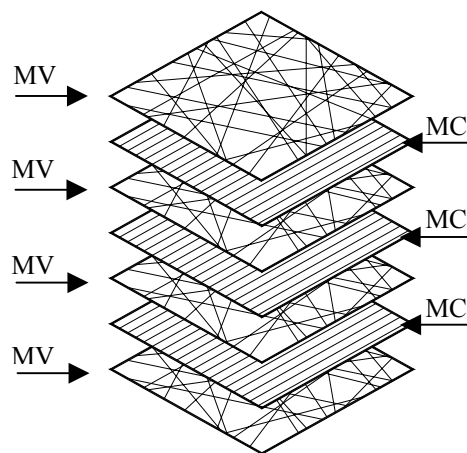
### 2.1 Materiais

Como matriz foi utilizada a resina poliéster ortoftálica. O material de reforço consiste de fibras de vidro-E e curauá. A fibra de vidro-E (manta de fibras curtas com 450 g/m<sup>2</sup>), foi fornecida pela indústria responsável pela fabricação dos laminados. A fibra de curauá (variedade denominada de curauá roxo), foi obtida por meio de contatos com pesquisadores da Embrapa na Amazônia e foram utilizadas na forma de mantas de fibras contínuas. Estas, são formadas por mechas com 65cm de comprimento e 0,9 dtex (coladas lado a lado), e foram confeccionadas manualmente.

## 2.2 Fabricação dos Laminados

Os compósitos laminados foram fabricados por uma indústria local utilizando a técnica de moldagem manual (hand-lay-up). Foram fabricados três laminados: O primeiro é formado por sete camadas de mantas de fibras de vidro-E (**denominado de LV**), o segundo por quatro camadas de mantas de fibras de vidro-E intercaladas com três camadas de fibras contínuas de curauá (**denominado de LH**) e o terceiro por sete camadas de mantas de fibras contínuas de curauá (**denominado de LC**). A configuração do laminado híbrido é mostrada na Figura 1.

A densidade dos laminados foi determinada segundo a norma ASTM D792-91<sup>(14)</sup> e a fração volumétrica da fibra de vidro através de um ensaio de calcinação, realizado apenas para os laminado híbrido e de vidro.



**Figura 1.** Configuração do laminado híbrido vidro/curauá. MV – manta de fibra de vidro, MC – manta de fibras contínuas de curauá.

## 2.3 Ensaio Mecânicos

Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados de acordo com a norma ASTM D790-96.<sup>(15)</sup> Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25°C), em um equipamento Shimadzu AG-I. No caso do laminado híbrido os ensaios foram realizados para os corpos de prova em sua condição original (seco) e após imersão em água destilada até a saturação (envelhecido).

## 2.4 Ensaio de Absorção de Água

Os ensaios de absorção de água foram realizados conforme a norma ASTM D570-96,<sup>(16)</sup> utilizando corpos de prova com 2,5 x 7,6 cm<sup>2</sup>, com imersão em água destilada. Os corpos de prova foram medidos, pesados e imersos em água (temperatura ambiente). Em intervalos de tempo pré-determinados, foram retirados da água, pesados em uma balança de precisão (0,0001g) e novamente colocados no banho. Este procedimento foi repetido até ser alcançada a saturação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Densidade e Fração Volumétrica

A densidade dos laminados e os resultados do ensaio de calcinação são apresentados na Tabela 1. Como esperado, a substituição da fibra de vidro pela fibra natural promoveu decréscimo na densidade do laminado híbrido devido à menor densidade da fibra natural.

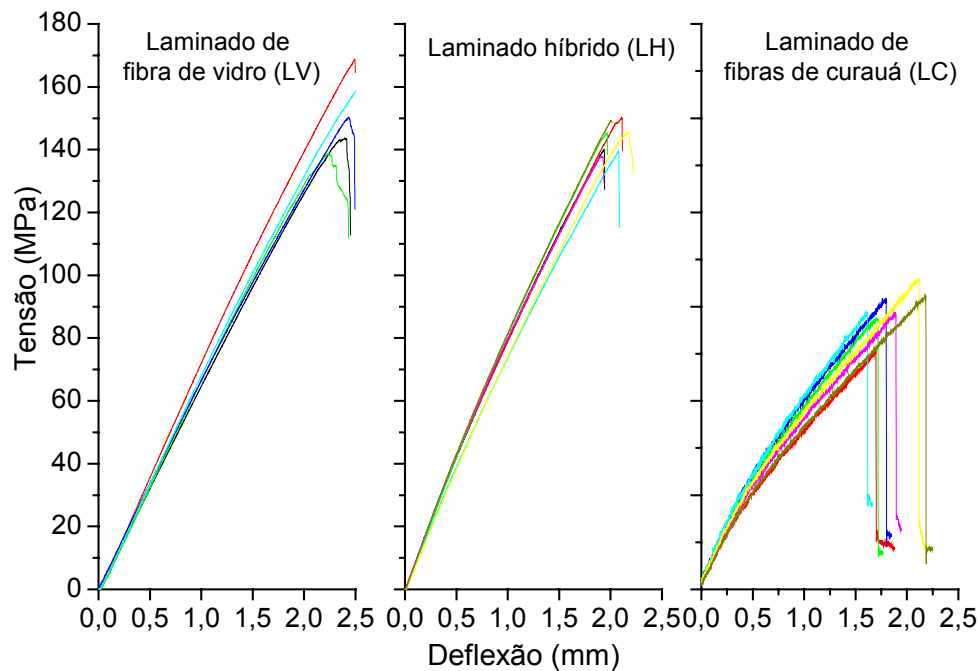
A fração volumétrica de fibra de vidro, para os compósitos LV e LV, é relativamente baixa, o que condiz com os valores geralmente obtidos em processos de laminação manual, já o teor de vazios do compósito LV foi surpreendentemente baixo em se tratando de um processo manual. No caso dos compósitos LC e LH não é possível, através do ensaio de calcinação, determinar a fração volumétrica da fibra natural pois a mesma é queimada juntamente com a resina, impedindo também a determinação da fração de vazios.

**Tabela 1.** Densidade dos laminados e fração volumétrica dos componentes.

Laminado	LV	LH	LC
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,47	1,39	1,18
Fração em volume de fibra de vidro (%)	17,6	12,6	-
Fração em volume de resina (%)	78,2	-	-
Fração em volume de vazios (%)	4,2	-	-

#### 3.2 Propriedades Mecânicas em Flexão no Estado Seco

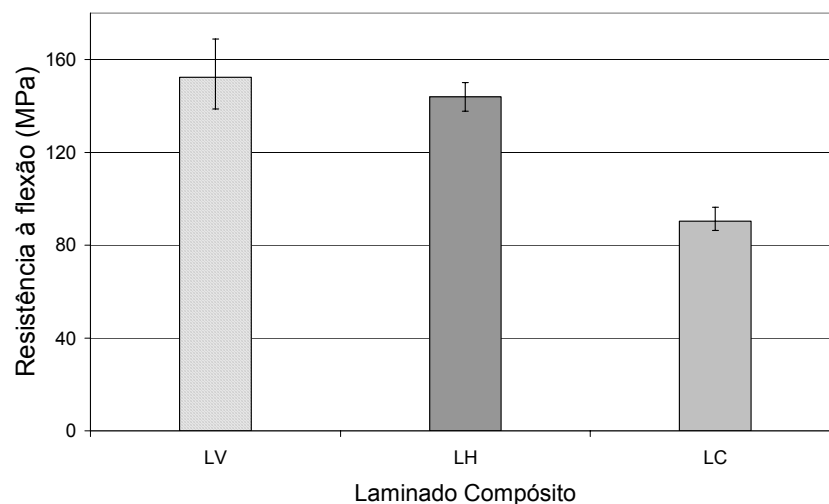
A Figura 2 mostra os diagramas Tensão x Deflexão, obtidos nos ensaios de flexão. Lembrando que, no caso dos compósitos LH e LC, as fibras de curauá estão orientadas perpendicularmente à direção de aplicação da carga.



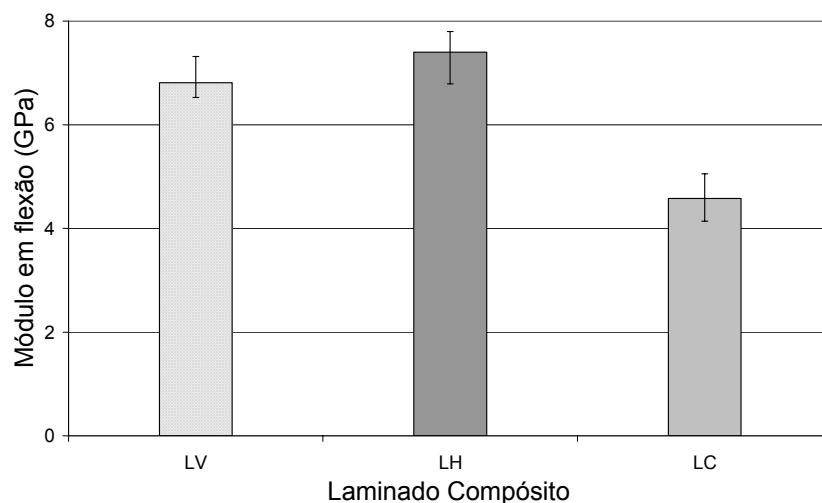
**Figura 2.** Diagramas Tensão x Deflexão obtidos nos ensaios de flexão.

O compósito LV apresentou um comportamento linear até a fratura final; comportamento comum para os compósitos com matrizes termofixas e fibras sintéticas. Já os compósitos LH e LC apresentaram um comportamento linear até aproximadamente 50% da deflexão máxima, quando se observa desvio na linearidade, mais evidente para o LC. Em resumo, pode-se dizer que a inclusão de fibras naturais na obtenção do laminado híbrido não originou alteração significativa no seu comportamento. Vale ressaltar que o módulo elástico em flexão foi calculado considerando os valores até 50% da deformação de fratura, de forma a evitar qualquer influência do dano.

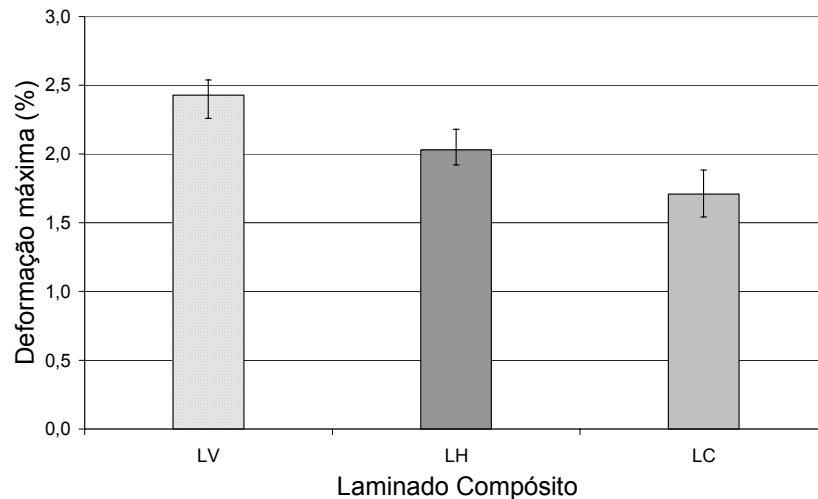
No estudo comparativo entre os laminados observou-se que as propriedades mecânicas estudadas, ou seja, resistência à flexão, módulo elástico em flexão e deformação máxima, possuem valores aproximados para os compósitos LV e LH, já o compósito LC mostrou um desempenho relativamente inferior apesar do uso de fibras contínuas de curauá. Além disso, o tipo de processo de fabricação empregado (bastante artesanal no caso do LC) facilita possíveis desalinhamentos das fibras contribuindo para o baixo desempenho final do laminado. As Figuras 3, 4 e 5 mostram a análise comparativa dos valores médios para essas propriedades tornando evidente o bom desempenho do laminado híbrido cujo desenvolvimento foi o objetivo principal deste trabalho.



**Figura 3.** Análise comparativa da resistência à flexão dos compósitos.



**Figura 4.** Análise comparativa do módulo de elasticidade dos compósitos.

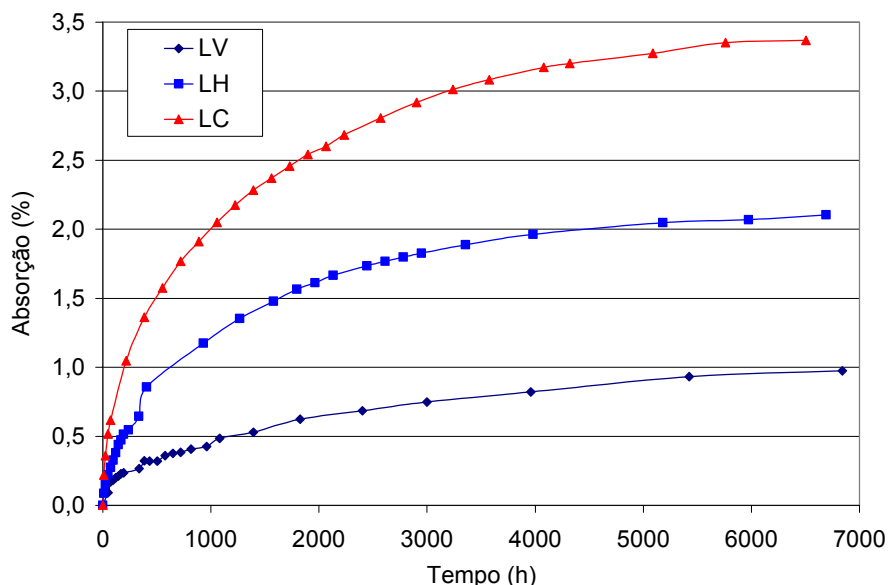


**Figura 5.** Análise comparativa da deformação máxima dos compósitos.

### 3.3 Ensaio de Absorção de Água

Neste item é feita uma análise comparativa entre os laminados sob o ponto de vista dos mecanismos de absorção de água e a influência da configuração. As curvas de absorção para os três laminados são apresentadas na Figura 6. Observa-se um comportamento inicial linear, seguido por um decréscimo contínuo da taxa de absorção (inclinação da curva), conduzindo a estabilidade (saturação). O tempo para a saturação é variável de acordo com a configuração do laminado.

A absorção máxima do compósito LC foi de 3,37%, valor que pode ser considerado baixo em se tratando de um compósito unicamente com fibra natural.<sup>(17,18)</sup> Certamente, o fato das fibras estarem orientadas no sentido longitudinal contribuiu para este comportamento, pois há poucas extremidades de fibra disponíveis para a absorção através do lúmen (núcleo oco da fibra). O teor máximo de absorção do compósito LH foi de 2,2% enquanto o LV absorveu um máximo de 0,97%.



**Figura 6.** Curvas do *Percentual de absorção de água x Tempo de imersão*, para os três compósitos (LV, LH e LC).

Comparando os teores de absorção dos compósitos LC e LH pode-se concluir que o processo de hibridização foi efetivo no sentido de diminuir a absorção do compósito com fibra natural. Vale lembrar que a configuração adotada para o compósito híbrido tem papel fundamental no mecanismo de absorção. As camadas externas são de fibra de vidro (Figura 1), justamente para atuarem como barreira de proteção às camadas internas de fibras de curauá diminuindo a absorção do compósito como um todo.

É interessante observar que a taxa de difusão inicial (inclinação da curva) é maior para o LC comparativamente ao LH. Certamente devido ao maior percentual de fibra natural no LC. Aparentemente é a fibra natural que domina o processo de absorção.

### 3.4 Influência da Absorção de Água nas Propriedades do Laminado Híbrido

As propriedades de resistência à flexão, módulo elástico em flexão e deflexão máxima do laminado híbrido, para as condições, *seco* e *envelhecido*, são apresentadas na Tabela 2. Observa-se que o envelhecimento foi mais influente no módulo elástico em flexão, (decréscimo de 17% em relação ao *seco*) do que na resistência à flexão, que praticamente não mostrou alteração.

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas em flexão para o laminado híbrido (valores entre parênteses correspondem à dispersão dos resultados).

Propriedade	Seco	Envelhecido
Resistência à flexão (MPa)	144,49 ( $\pm 4,2\%$ )	142,74 ( $\pm 2,2\%$ )
Módulo em flexão (GPa)	7,58 ( $\pm 3,0\%$ )	6,32 ( $\pm 7,8\%$ )
Deflexão máxima (%)	2,00 ( $\pm 4,7\%$ )	2,37 ( $\pm 5,5\%$ )

No carregamento por flexão a distribuição de carga não é uniforme para todas as camadas, mas especificamente, as camadas externas do laminado estão submetidas a um maior nível de carregamento e, por este motivo, são mais influentes no comportamento do laminado, principalmente no módulo elástico, que é medido com baixo nível de carregamento.

No caso dos corpos de prova envelhecidos, as camadas externas ficam permanentemente expostas à água e, conseqüentemente sofrem maior degradação do que as camadas internas, as últimas a serem saturadas. Assim, acredita-se que o decréscimo do módulo em flexão deve-se principalmente a plasticização da resina poliéster nas camadas externas do laminado em decorrência do longo tempo de imersão, uma vez que as fibras de vidro (que compõem as camadas externas) são pouco sensíveis à ação da água. Pode-se dizer que enquanto o módulo em flexão depende prioritariamente das camadas externas, e aqui com um grande percentual de resina, a resistência à flexão, determinada no momento da ruptura da face trativa do corpo de prova, depende da configuração do laminado como um todo, além do tipo de fibra na camada externa.

É importante ressaltar que mesmo após longo tempo de imersão (aproximadamente nove meses), praticamente não houve alteração na resistência à flexão do laminado, contrariando o comumente observado em outros trabalhos.<sup>(9)</sup> Este comportamento está intrinsecamente relacionado ao bom desempenho da configuração adotada, simétrica quanto à distribuição das camadas. Vale lembrar que as mantas de fibra de vidro nas camadas externas além de atuarem como barreira, protegendo as fibras de curauá da ação direta da água, também facilitam o processo de laminação (hand lay-up), garantindo uma espessura mais uniforme ao laminado.

## 4 CONCLUSÃO

- Considerando-se a substituição parcial da fibra de vidro por uma fibra natural de menor resistência mecânica, pode-se dizer que o desempenho apresentado pelo laminado híbrido foi excelente. Este comportamento está relacionado ao uso de fibras de contínuas de curauá como também à configuração idealizada para o laminado híbrido.
- O laminado híbrido apresentou menor absorção de água que o laminado unicamente com fibras de curauá comprovando a eficiência da hibridização e da configuração adotada na diminuição da absorção de água.
- A idealização da configuração do laminado híbrido com mantas de fibras de vidro nas camadas externas induziu a um bom desempenho no carregamento por flexão, não sendo registrada perda na resistência à flexão após o envelhecimento em água destilada.

## REFERÊNCIAS

- 1 DAHLKE, B.; LARBIG, H.; SCHERZER, H. D.; POLTROCK, R. Natural fiber reinforced foams based on renewable resources for automotive interior applications. **Journal of cellular plastics**, v.34, p. 361-379, 1998.
- 2 SUDELL, B. C.; EVANS, W. J.; ISAAC, D. H.; CROSKY, A. A Survey into the Application of Natural Fibre Composites in the Automotive Industry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 2002, São Pedro, Brazil.
- 3 JOSEPH, P. V.; RABELLO, M. S.; MATTOSO, L. H. C.; JOSEPH, K. Environmental Effects on the Degradation Behavior of Sisal Fibre Reinforced Polypropylene Composites. **Composites Science and Technology**, v. 68, p. 1357-1372, 2002.
- 4 SINGLETON, A. C. N.; BAILLIE, C. A. On the Mechanical properties, deformation and fracture of a natural fibre/recycled polymer composite. **Composites- Part B**, v. 34, p. 519-526, 2003.
- 5 SARKAR, B. K.; RAY, D. Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alcali-treated jute fibres. **Composites Science and Technology**, v. 62, p. 911-917, 2002.
- 6 ESPERT, A.; VILAPLANA, F.; KARLSSON, S. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. **Composites Part A**, v. 35, n. 11, p. 1267-1276, 2004.
- 7 BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 8 MOE, M. T.; LIAO, K. Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. **Composite Science and Technology**, v. 63, p. 375-387, 2003.
- 9 SREEKALA, M.S. The mechanical performance of hybrid phenol-formalde-based composites reinforced with glass and oil palm fibres. **Composite Science and Technology**, v. 62, p. 239-253, 2002.
- 10 SEENA, Y. A Comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres. **Composite Science and Technology**, 62:1857-1868, 2002.



- 11 LEÃO, A. L.; CARASCHI, J. C.; TAN, I. H.; KOZLOWSKI, R.; MANYS, S. Fibra de curauá: uma alternativa na produção de compósitos. **Plástico Industrial**, Ano III, n.31, pg. 214-229, 2001.
- 12 OLIVEIRA, W. Comportamento mecânico e Característica da Fratura em Compósitos Híbridos, Mestrado em Engenharia Mecânica - UFRN, Natal-RN, 2005.
- 13 PEMATEC TRIANGEL, disponível em <<http://www.pematec.com.br/curaua.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2007.
- 14 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D792-91: Standard test method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by Displacement. Philadelphia. CD-ROM, 1995.
- 15 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D790-96: Standard test method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical insulating Materials. Philadelphia. CD-ROM, 1995.
- 16 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D570-98: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics CD-ROM, 1995.
- 17 THWE, M. M.; LIAO, K. Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fibre reinforced polymer matrix hybrid composites. **Composites Part A**, v. 33, p. 43-52, 2002.
- 18 SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais, Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – USP - São Carlos – SP, 2003.