

Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética

DA SILVA, R.V.^I; AQUINO, E.M.F.^{II}; RODRIGUES, L.P.S.^{II}; BARROS, A.R.F.^{III}

^I Centro Federal de Educ. Tecnol. do Espírito Santo (CEFET-ES) - Coordenadoria de Metalurgia e Materiais
Av Vitória 1729 – Jucutuquara - Vitória-ES, CEP: 29040-780.

e-mail: rosanavilarim@yahoo.com.br

^{II} Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica
Lagoa Nova – Natal-RN, CEP: 59072-970

e-mail: eve@dem.ufrn.br, leonardosarmento@yahoo.com.br

^{III} Centro de Tecnologia do Gás (CT-GÁS-RN)

Av. Capitão-Mor Gouveia 1480 - Lagoa Nova – Natal-RN -CEP: 59063-400

e-mail: alyssonregis@yahoo.com.br

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) em uma matriz de resina poliéster. 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. Ensaio de absorção de água foram também realizados sendo obtidas as curvas de saturação para os três laminados. Por fim, foi analisada a influência da absorção de água nas propriedades mecânicas em flexão 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 foi comprovada a eficiência da hibridização na redução do percentual de absorção de água do laminado apenas com fibra natural. O laminado híbrido vidro/curaua mostrou ser um promissor substituto para os laminados de fibra de vidro mesmo em aplicações de contato direto com água.

Palavras chaves: Compósito híbrido, fibras naturais, fibras de curauá, absorção de água.

Development of a hybrid composite with synthetic and natural fibers

ABSTRACT

Natural fibre 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 fibres. 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 fibres (glass-E) in a polyester matrix. A comparative study of the flexural mechanical properties among the hybrid composite and two others, one just with fibreglass and other just with curaua fibres, 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 and fibreglass composites were very close, on the other hand the composite just with natural fibre showed a quite inferior performance. The hybridization was efficient in the sense of reducing the water absorption of the natural fibre composite (curaua). The hybrid glass/curauá composite showed to be a promising substitute for fibreglass composites even in applications of contact with water.

Keywords: Hybrid composite, natural fibre, curaua fibre, water absorption.

1 INTRODUÇÃO

O atual interesse nos compósitos com fibras naturais deve-se, entre outros fatores, a crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente e utilização de matéria prima renovável. Há um grande interesse na busca por fibras naturais que possam substituir adequadamente as fibras sintéticas como, por exemplo, a fibra de vidro.

Compósitos poliméricos 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 [1, 2]. O baixo desempenho mecânico e alta absorção de umidade dessas fibras [3, 4, 5, 6], são os grandes empecilhos em encontrar novas aplicações. Uma alternativa para minimizar este problema é o processo de hibridização, associando fibras naturais e sintéticas.

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, naturalmente hidrofílicas, com a água. Bledzik e Gassan [7], 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 também reduzida. Na literatura especializada, vários trabalhos relativos a compósitos híbridos 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 [8, 9, 10].

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 para os três laminados e analisada a influência da absorção de água nas propriedades mecânicas em flexão do laminado híbrido.

A opção de utilizar a fibra de curauá no desenvolvimento do compósito híbrido deve-se ao seu bom desempenho mecânico [11, 12], 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 de veículos, teto e tampa de bagageiro, por exemplo [13].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a fabricação dos laminados compósitos foi utilizada a resina poliéster ortoftálica como matriz e fibras de vidro-E e curauá como reforços. A fibra de vidro-E (manta de fibras curtas com 450 g/m²), 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 foram confeccionadas manualmente sendo formadas pelo agrupamento de mechas com 65cm de comprimento e 0,9 dtex (fixadas lado a lado). As propriedades da fibra de curauá podem ser encontradas nas referências 11, 12 e 13.

2.2 Fabricação dos laminados

Os compósitos laminados foram fabricados por uma indústria local utilizando a técnica de moldagem manual (hand-lay-up). Os laminados foram fabricados por uma indústria local utilizando a técnica de moldagem manual (hand lay-up). Três tipos de laminados compósitos foram fabricados:

- LV - laminado com sete camadas de mantas de fibras de vidro (100 x 100 cm² com 0,6 (±0,3) cm de espessura).
- LH - laminado híbrido com quatro camadas de mantas de fibras de vidro intercaladas com três camadas de mantas de fibras contínuas de curauá (95 x 65 cm² com 0,56 (±0,3) cm de espessura).
- LC - laminado com 7 camadas de mantas de fibras contínuas de curauá (60 x 30 cm² com 0,67 (±0,3) cm de espessura).

A configuração do laminado híbrido é mostrada na Figura 1. A densidade dos laminados foi determinada segundo a norma ASTM D792-91 [14] e a fração volumétrica da fibra de vidro através de um ensaio de calcinação, realizado apenas para os laminados híbrido e de fibra de vidro.

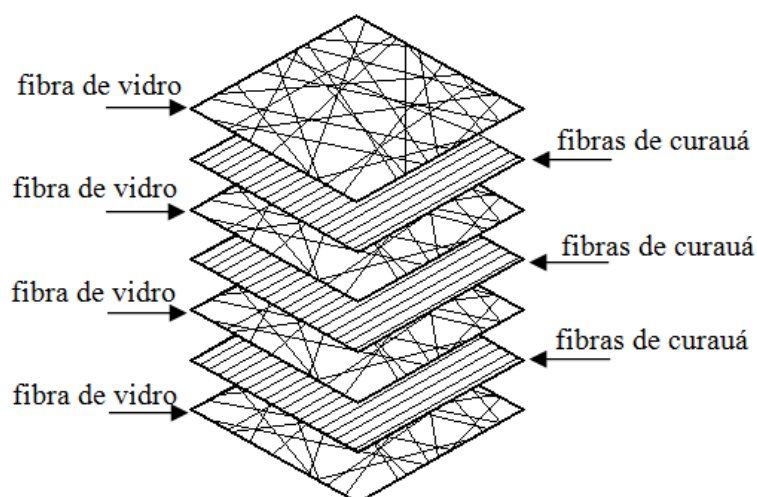


Figura 1: Configuração do laminado híbrido vidro/curauá (LH).

2.3 Ensaio de Flexão em três Pontos

Ensaio de flexão em três pontos foram realizados de acordo com a norma ASTM D790-96 [15]. 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). Para os demais laminados apenas no estados seco.

2.4 Ensaio de Absorção de Água

Os ensaios de absorção de água foram realizados conforme a norma ASTM D570-96 [16], utilizando corpos de prova com 2,5 x 7,6 cm². Os corpos de prova foram medidos, pesados e imersos em água destilada (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. Ao final do ensaio foi obtida a Curva de Absorção, *Absorção de água (%) x Tempo de imersão (h)*. Cada ponto da curva representa a média de três corpos de prova.

3 RESULTADOS

3.1 Densidade e Fração Volumétrica

A densidade dos laminados e a fração volumétrica dos componentes são apresentadas na Tabela 1. Como esperado a menor densidade é do laminado apenas com fibra natural (LC), enquanto o laminado híbrido (LH) encontra-se em posição intermediária entre os laminados LV e LC.

A fração volumétrica de fibra de vidro, para os compósitos LH 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. Uma alternativa seria a determinação da fração em massa (peso) dos componentes; no entanto os resultados são muito imprecisos devido à técnica de laminação manual utilizada na fabricação dos compósitos e, portanto, de pouco valor científico.

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

Laminado	LV	LH	LC
Densidade (g/cm ³)	1,47 (±0,5%)	1,39 (±1%)	1,18 (±6,8%)
Fração em volume de fibra de vidro (%)	17,6 (±14%)	12,6 (±7,6%)	-
Fração em volume de resina (%)	78,2 (±6%)	-	-
Fração em volume de vazios (%)	4,2 (±3,5%)	-	-

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, ou seja, no sentido do comprimento do corpo de prova.

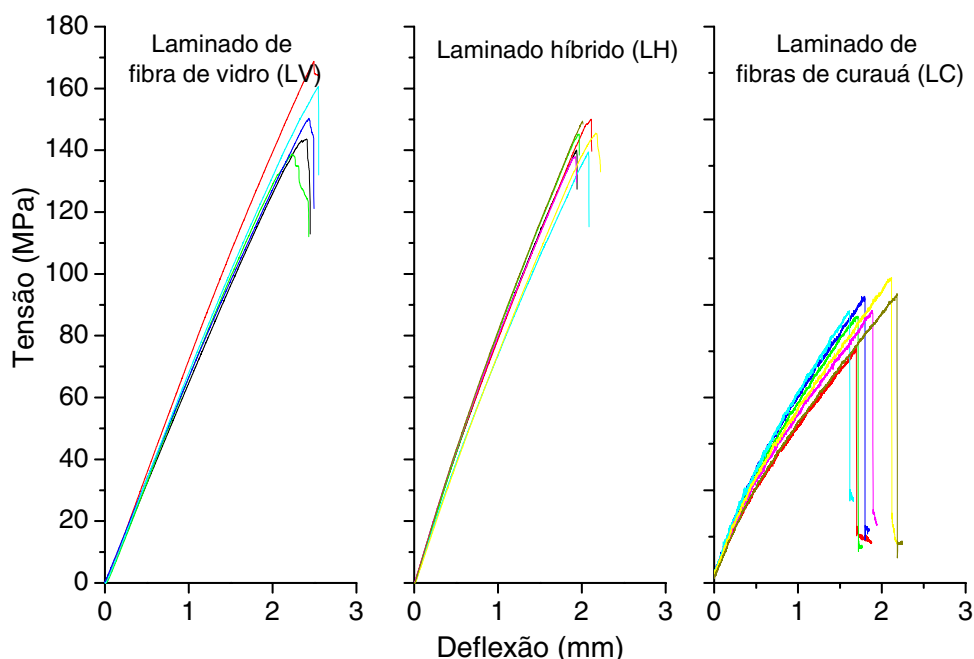


Figura 2: Diagramas Tensão x Deflexão obtidos nos ensaios de flexão.

O compósito LV apresentou um comportamento linear até a fratura final; comum à maioria dos compósitos com matrizes termofixas e fibras sintéticas. Já os compósitos LH e LC apresentaram um comportamento médio linear até aproximadamente 50% da tensão máxima, quando se observa desvio na linearidade, o que é mais evidente para o LC. Pode-se dizer que a inclusão das fibras naturais na obtenção do laminado híbrido não originou alteração significativa no seu comportamento comparativamente ao compósito apenas com fibras de vidro. Vale ressaltar que o módulo elástico em flexão foi sempre calculado tomando-se os valores até 50% da tensão máxima, de forma a evitar qualquer influência do dano na medida.

A análise comparativa das propriedades mecânicas dos laminados é apresentada nas Figuras 3, 4 e 5. As propriedades de resistência à flexão, módulo elástico em flexão e deformação máxima possuem valores próximos para os compósitos LV e LH. O compósito LC mostrou um desempenho relativamente inferior apesar do uso de fibras contínuas de curauá que maximiza a transferência de carga para as fibras otimizando o desempenho mecânico do compósito. Vale lembrar que a técnica empregada na fabricação dos compósito é bastante artesanal o que facilita possíveis desalinhamentos das fibras contribuindo para o baixo desempenho final do laminado.

Uma análise global das Figuras 3, 4 e 5 torna evidente o bom desempenho do laminado híbrido comparativamente ao laminado de fibra de vidro.

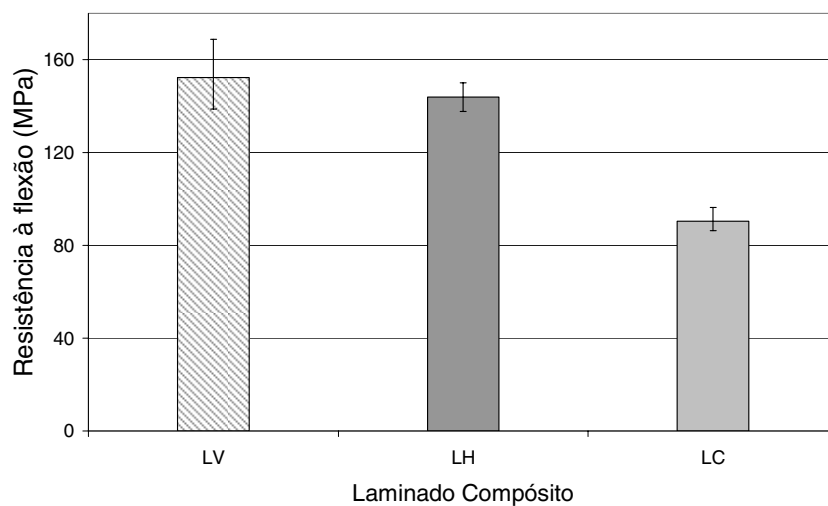


Figura 3: Análise comparativa da resistência à flexão dos lamiandos.

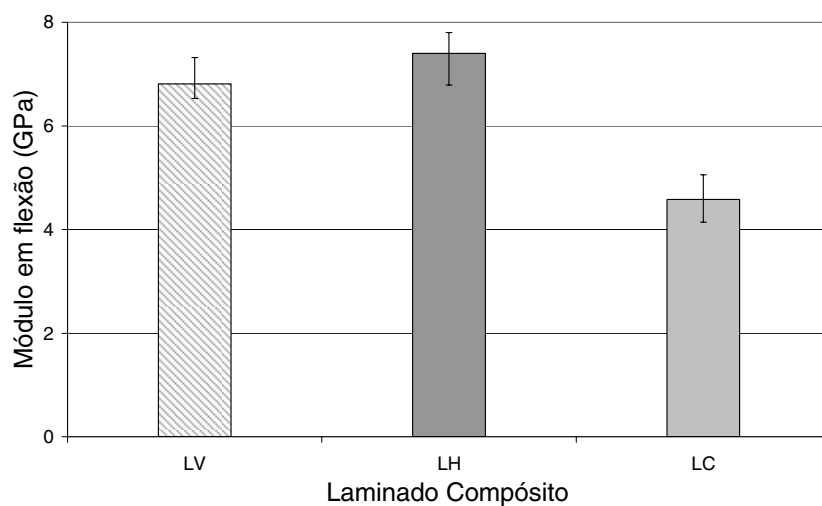


Figura 4: Análise comparativa do módulo elástico em flexão dos laminados.

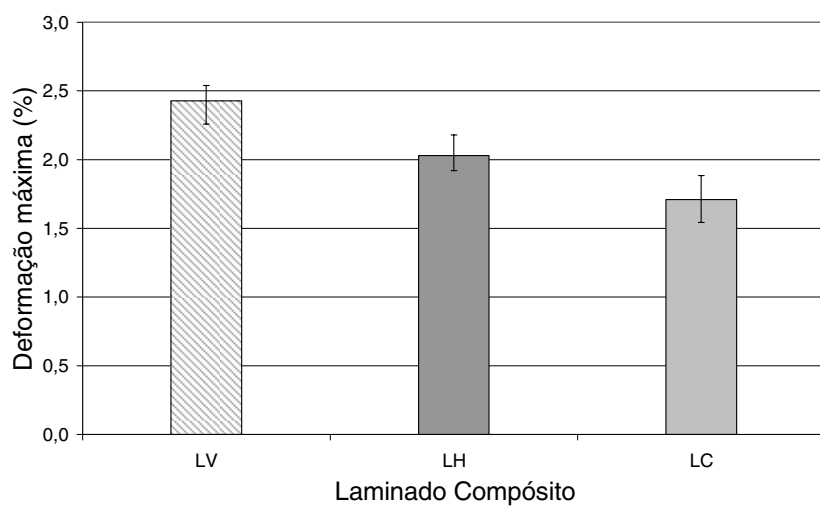


Figura 5: Análise comparativa da deformação máxima dos lamiandos.

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 nestes mecanismos. As curvas de absorção para os três laminados são apresentadas na Figura 6. As curvas mostram um decréscimo contínuo da taxa de absorção (determinada pela inclinação da curva), que conduz a estabilidade (saturação). O tempo para a saturação é variável de acordo com a configuração do laminado, mas fica em torno de 280 dias (9 meses).

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 [17, 18]. 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 %.

Comparando os compósitos LC e LH pode-se dizer 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 (ver Figura 1), justamente para atuarem como barreira de proteção às camadas internas de fibras de curauá diminuindo a absorção do compósito como um todo. Além disso, favorecem um melhor desempenho mecânico do compósito, uma vez que no carregamento por flexão as camadas externas são as mais solicitadas.

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. Isto mostra que, aparentemente, é a fibra natural que domina o processo de absorção.

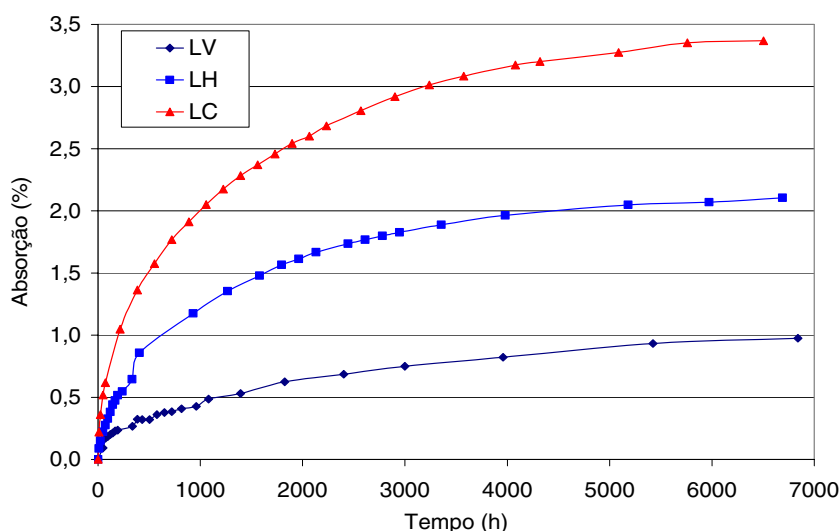


Figura 6: Curvas do *Percentual de absorção de água x Tempo de imersão* para os compósitos (LV, LH e LC).

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, nas 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 estado 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 (±4,2%)	142,74 (±2,2%)
Módulo em flexão (GPa)	7,58 (±3,0%)	6,32 (±7,8%)
Deflexão máxima (%)	2,00 (±4,7%)	2,37 (±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 [9]. 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 CONCLUSÕES

- 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.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa DCR concedida (Proc: 309893/2003-8) e ao CTGás- RN pela realização dos ensaios mecânicos.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] DAHLKE, B., LARBIG, H., *et al.*, “Natural fiber reinforced foams based on renewable resources for automotive interior applications”, *Journal of cellular plastics*, v. 34, pp. 361-379, 1998.
- [2] SUDELL, B. C., EVANS, W. J., *et al.*, “A Survey into the Application of Natural Fibre Composites in the Automotive Industry”, In: *International Symposium on Natural Polymers and Composites*, São Pedro, Brazil, 2002.
- [3] JOSEPH, P. V., RABELLO, M. S., *et al.*, “Environmental Effects on the Degradation Behavior of Sisal Fibre Reinforced Polypropylene Composites”, *Composites Science and Technology*, v. 68, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 1267-1276, 2004.
- [7] BLEDZKI, A. K., GASSAN, J., “Composites reinforced with cellulose based fibres”, *Progress in Polymer Science*, v. 24, pp. 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, pp. 375-387, 2003.
- [9] SREEKALA, M.S., “The mechanical performance of hybrid phenol-formalde-based composites reinforced with glass and oil palm fibers”, *Composite Science and Technology*, v. 62, pp. 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*, v. 62, pp.1857-1868, 2002.
- [11] LEÃO, A. L., CARASCHI, J. C., et al., “Fibra de curauá: uma alternativa na produção de compósitos”, *Plástico Industrial*, Ano III, n. 31, pp. 214-229, 2001.
- [12] OLIVEIRA, W., *Comportamento mecânico e Característica da Fratura em Compósitos Híbridos*, Dissertação de M.Sc., PPGEM/UFRN, Natal, RN, Brasil, 2005.
- [13] PEMATEC TRIANGEL, <http://www.pematec.com.br/curaua.htm>, acessado em fevereiro de 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, pp. 43-52, 2002.
- [18] SILVA, R. V. *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, 2003.