

# 11º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS

16 a 20 de Outubro de 2011  
Campos do Jordão - SP



## INFLUÊNCIA DO TEOR DE FIBRAS NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO INTERLAMINAR EM COMPÓSITOS UNIDIRECIONAIS DE CURAUÁ OU VIDRO

Felipe H. de Oliveira<sup>1\*</sup>, Sandro C. Amico<sup>1</sup>, Ana L. Helfer<sup>1</sup>, André C. Garay<sup>1</sup>

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Campus do Vale, Porto Alegre-RS

\*felipe.oliveira@ufrgs.br

**Resumo:** Apesar das excelentes propriedades, reforços de fibra sintética como vidro, aramida e carbono, apresentam aspectos negativos relacionados ao custo e ao impacto ambiental quando comparados às fibras naturais. Essas são algumas das razões que justificam pesquisas focadas no uso de materiais fibrosos renováveis como reforço em compósitos. Este trabalho busca comparar o comportamento de compósitos de matriz poliéster isoftálica reforçados com fibras unidirecionais de curauá com aqueles com fibras de vidro. Os compósitos foram moldados por compressão à quente onde se variou o tipo de fibra (curauá ou vidro) e o teor de fibras (10%, 20%, 30%, 40% e 50%). A caracterização dos diferentes compósitos foi realizada pelo ensaio de ILSS – Short beam. Os resultados indicam um valor ótimo de resistência para teores de fibra de 30%, tanto para o vidro quanto para o curauá.

**Palavras-chave:** *Fibras vegetais, Curauá, Fibra de vidro, Compósitos, ILSS, Short beam*

### *Influence of fiber volume fraction in unidirectional composites polyester/curaua and polyester/glass trough short beam tests*

**Abstract:** Despite their excellent properties, synthetic fibre reinforcements such as glass, aramid and carbon, present drawbacks regarding cost and environmental impact when compared to natural reinforcements. These are some of the reasons promoting the current research focusing on the use of renewable fibrous materials as reinforcement for composites. This work aims to compare the behavior of isophthalic polyester matrix composites reinforced with unidirectional curaua or glass fiber composites. The composites were compression molded varying the type of fiber (curaua or glass) and the fiber volume fraction (10%, 20%, 30, 40% and 50%). Characterization of the various composites was carried out via ILSS (inter-laminar shear strength) tests, also known as short-beam. The results indicate an optimal strength value to 30% of fiber volume fraction for both, glass and curaua.

**Keywords:** *Vegetable fibers, Curaua, Glass fiber, Composites, ILSS, Short beam.*

### **Introdução**

Fibras sintéticas não-renováveis como vidro, aramida e carbono, juntamente com resinas termorrígidas como epóxi, poliuretano e poliéster insaturado tem causado problemas relacionados ao seu impacto ambiental devido a sua característica de não biodegradabilidade. Apesar da reciclagem destes materiais estar aumentando, uma boa parte ainda é depositada em lixões e outras destinações inadequadas. O aumento da consciência ecológica e as novas políticas mundiais de sustentabilidade, aliada à preocupação com a depleção dos depósitos de petróleo tem encorajado os cientistas a desenvolverem compósitos mais ecologicamente corretos [1].

A utilização de compósitos de baixo impacto ao meio ambiente está atualmente relacionada principalmente à utilização de matérias-primas oriundas de fonte renovável. Nesta categoria enquadram-se as fibras naturais. Comparando com a fibra de vidro, a fibra vegetal possui menor custo, menor densidade, não é tóxica, não é abrasiva e não polui o meio ambiente. Outra vantagem se refere à alta demanda de energia utilizada na fabricação da fibra de vidro, que não ocorre para as fibras naturais [2].

O ensaio de cisalhamento interlaminar (ILSS), também conhecido como short-beam, se tornou um método amplamente utilizado na caracterização da resistência à falha interlaminar de compósitos reforçados com fibras [3]. Entretanto, é também empregado para avaliar a resistência interfacial fibra/matriz de compósitos, característica vital com relação ao seu desempenho, seja de fibras vegetais, sintéticas ou mesmo híbridos [4-6]. O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho de compósitos moldados com fibra de vidro com aqueles moldados com fibras vegetais através do ensaio de ILSS.

## **Experimental**

### *Materiais*

Os seguintes materiais foram utilizados para as moldagens dos compósitos:

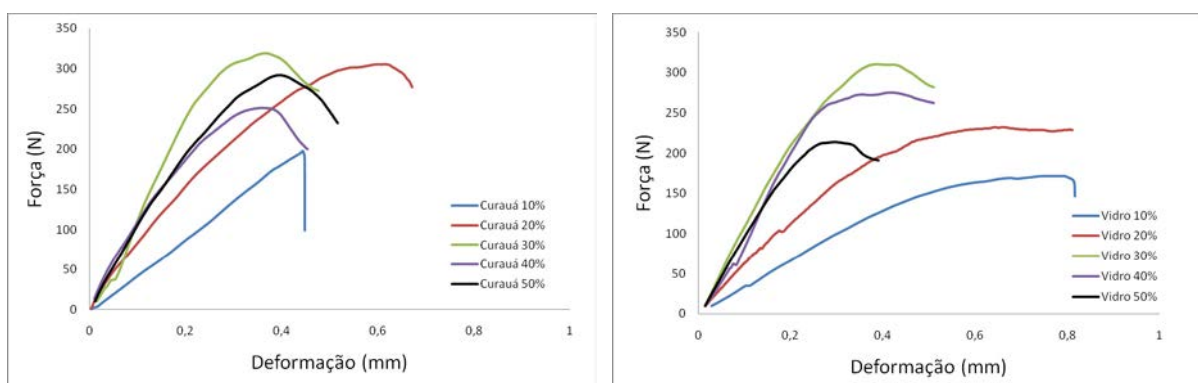
- Resina Poliéster Arazyn AZ 12.0 Isoftálica marca Ara Ashland.
- Iniciador Butanox M-50 (1,5% em volume).
- Fibras de vidro da marca Owens Corning.
- Fibras de Curauá: As fibras de curauá foram adquiridas diretamente de um agricultor da região de Santarém/Pará. As folhas da planta já haviam sofrido um pré-tratamento, com a retirada da mucilagem através de uma limpeza preliminar e secagem ao ar livre. Foi realizada uma segunda limpeza com água e escovação e depois as fibras foram torcidas até formarem filamentos contínuos em forma de corda.

Para a moldagem, a fibra vegetal foi utilizada *in natura*, sendo apenas seca em estufa com circulação de ar a 105° C por 30 min. Foram produzidos reforços individuais de fibra de curauá e fibra de vidro contínuas através da disposição manual, de forma homogênea e alinhada, no sentido longitudinal do molde com variação da fração volumétrica de fibra (10%, 20%, 30%, 40% e 50%). Os compósitos foram moldados na temperatura de 95°C por 70 min na forma de placas planas com dimensões de 270 × 170 × 3 mm pelo processo de compressão à quente em uma prensa hidráulica MARCONI, com a aplicação de uma pressão de 6 ton. A moldagem foi realizada após a degasagem da resina por 5 min em banho ultrasônico.

Todos os compósitos produzidos foram caracterizados em ensaio de short-beam (ASTM D2344M), também conhecido por cisalhamento interlaminar, em uma máquina universal de ensaios EMIC DL2000 com uma célula de carga de 200 kgf. Quinze corpos de prova foram usados para a avaliação em compósitos de curauá e doze corpos de prova para os de vidro (comprimento =  $6 \times$  espessura, largura =  $2 \times$  espessura). Também foram feitas análises micrográficas dos compósitos produzidos para a avaliação visual do teor de vazios, fator que interfere na resistência short-beam, pela observação em um microscópio trinocular Axio Scope A1 marca Carl Zeiss. Para as análises micrográficas os corpos de prova foram embutidos em resina acrílica, sendo posteriormente lixados com diferentes granulações de lixas, variando da maior para menor granulação e então polidos.

## Resultados e Discussão

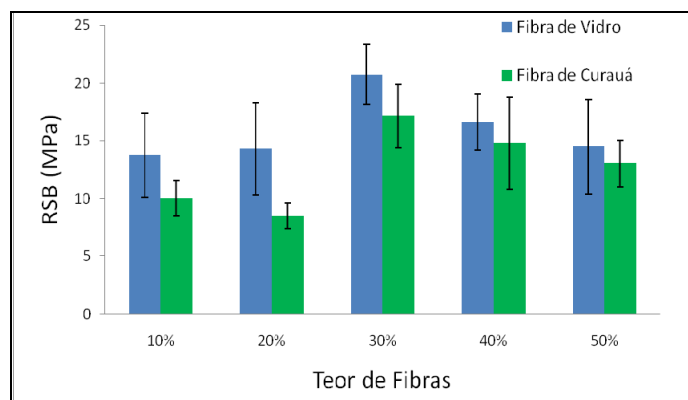
A resistência ao cisalhamento interlaminar depende primariamente das propriedades da matriz e da resistência interfacial fibra/matriz, diferentemente de outros testes onde as propriedades da fibra são mais importantes [7]. Na Figura 1, são apresentadas curvas de força versus deformação típicas. Em geral, a falha ocorreu devido ao cisalhamento interlaminar com alguma influência de dano por flexão, dobramento e, para o caso da fibra de curauá, descolamento das fibras (*pull-out*), devido principalmente à fraca adesão interfacial no caso desta fibra natural [8].



**Figura 1** – Efeito do teor de fibra (% em volume) nas curvas do ensaio de ILSS para compósitos de curauá (E) e vidro (D).

Na Figura 2 apresentam-se as médias das medidas de resistência short beam (RSB) dos vários compósitos e é possível notar, o aumento na RSB média para os compósitos com fibra de vidro de 10% a 30%, mantendo-se estável em 40%, seguindo de uma queda para o teor de 50%, ou seja, obteve-se um máximo para os compósitos com 30% de fibra de vidro. Coincidentemente, para os compósitos reforçados com fibra de curauá, também foi encontrado o teor ótimo de fibra de 30%,

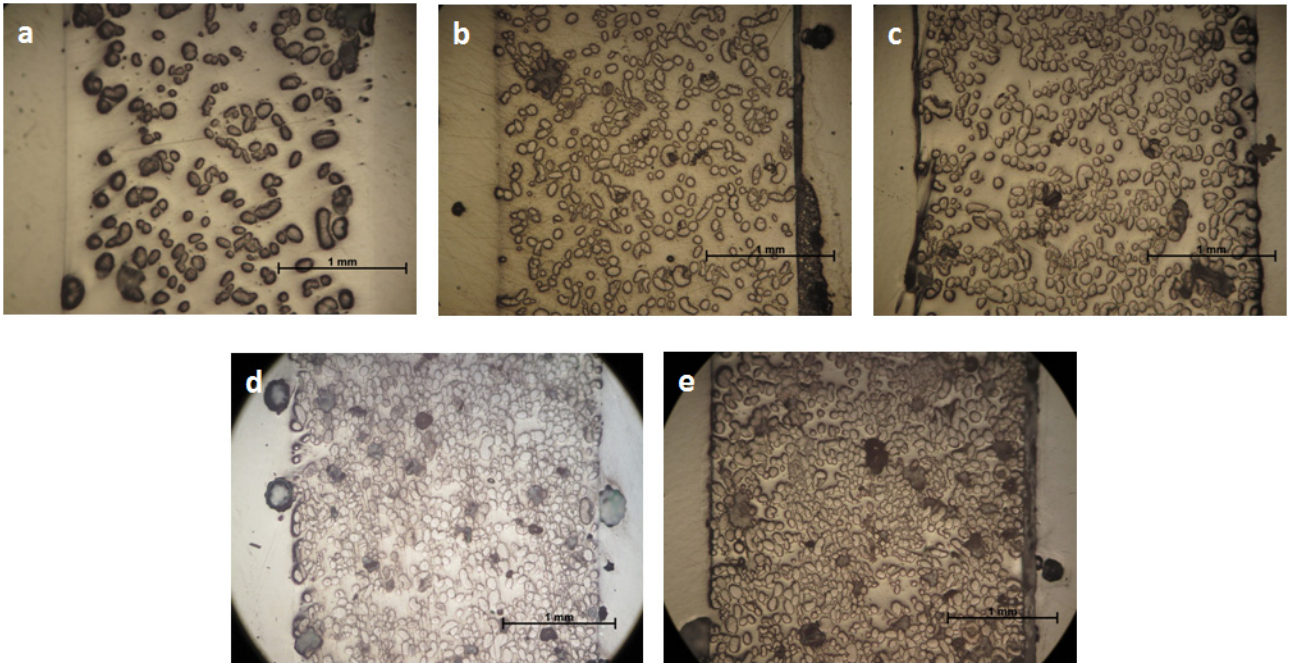
ou seja, notou-se uma queda para os maiores teores de fibra. Comparando-se as duas fibras, o vidro permaneceu sempre a frente nos valores de resistência, apresentando uma diferença mais acentuada, aproximadamente 5%, para os teores de 10% e 20% de fibra. Para teores mais altos de fibra a diferença decai para 3%.



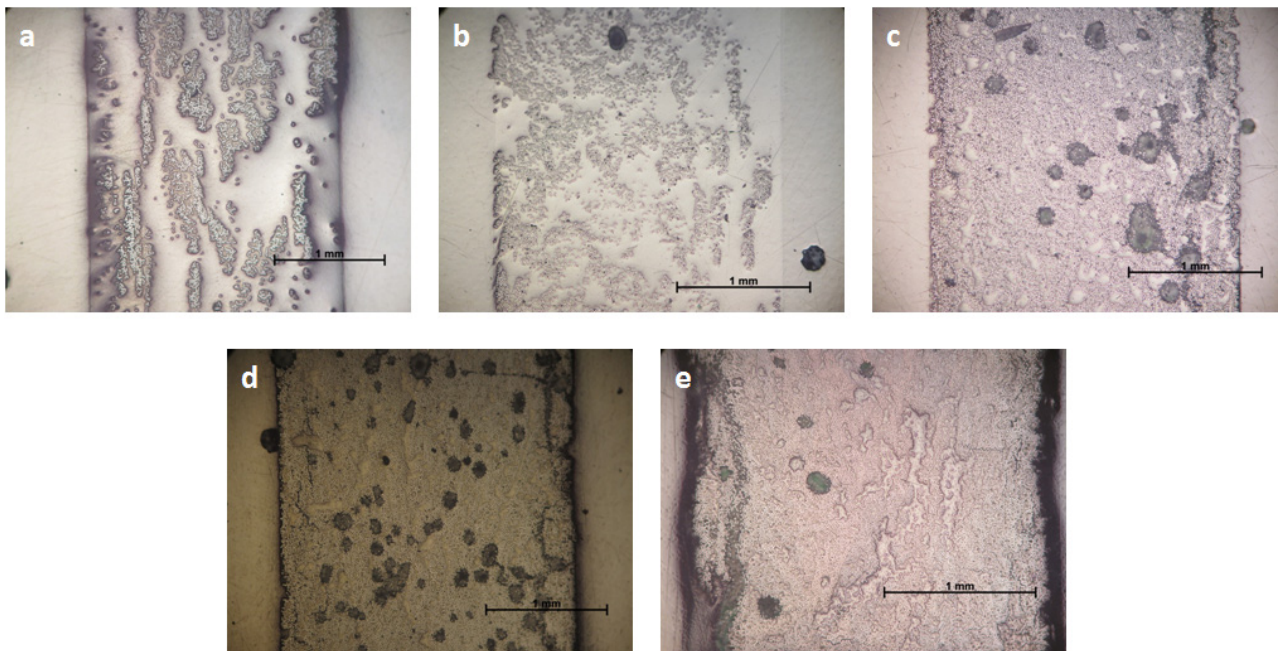
**Figura 2** – Comparação dos valores de ILSS de compósitos reforçados com vidro e reforçados com curauá mostrando o efeito do teor de fibra (% em volume).

As Figuras 3 e 4 mostram as micrografias óticas feitas para os compósitos moldados com curauá e vidro, respectivamente, onde se variou o teor de fibra. É possível notar uma boa distribuição das fibras, considerando que foi realizada uma deposição manual na moldagem, bem como a presença de vazios (áreas escuras nas fotos), que foi mais acentuada entre 40-50% de curauá e entre 30-40% de vidro. No caso do vidro 30%, apesar de uma quantidade de vazios visualmente significativa, sua resistência média ficou acima dos demais teores de fibra.

Ahmed et al. [7] encontraram, para laminados de poliéster reforçados com juta 36% em volume, valores de ILSS de 13,9 MPa, o que se mostra um pouco abaixo dos valores encontrados para o curauá, 17,1 e 14,8 MPa para volumes de fibra de 30 e 40% respectivamente. Para o vidro o valor máximo encontrado foi de 20,7 MPa, abaixo do descrito por Mathews e Rawlings [9] que estaria entre 30 e 75 MPa para compósitos de epóxi reforçados com fibra de vidro. Wisnom [10] mostrou uma redução em ILSS por vazios em compósitos unidirecionais vidro/epóxi e caracterizou dois tipos de vazios: vazios largos discretos (diâmetro  $\approx 3$  mm) e vazios pequenos distribuídos (diâmetro  $\approx 0,28$  mm). Os vazios largos atuam como iniciadores de trinca sob tensões de cisalhamento, embora o aumento na tensão pela redução da secção transversal seja o principal fator na falha por cisalhamento de compósitos com vazios pequenos e distribuídos. Para que haja um aumento máximo no ILSS, St John [11] sugere a modificação da resina para aumentar resistência, a redução do teor de microvazios, ou ambos.



**Figura 3** – Microscopia ótica de compósitos reforçados com fibra de curauá variando o teor de fibra: a) 10%, b) 20%, c) 30%, d) 40%, e) 50%. (Zoom 10x, zoom digital 1.7)



**Figura 4** – Microscopia ótica de compósitos reforçados com fibra de vidro variando o teor de fibra: a) 10%, b) 20%, c) 30%, d) 40%, e) 50%. (Zoom 10x, zoom digital 1.7)

## Conclusões

Tanto os compósitos unidirecionais poliéster/vidro quanto os compósitos poliéster/curauá mostraram o mesmo teor volumétrico de fibra ótimo para a resistência ao cisalhamento interlaminar em 30%. O vidro ainda se mostra um reforço mais adequado, com valores de resistência superiores ao de curauá, contudo a presença de vazios em um maior grau para este reforço fez com que essa diferença não fosse considerável. O maior grau de vazio encontrado na fibra de vidro foi atribuído ao fato das fibras ficarem mais afastadas durante a moldagem, o que resultou em um maior acúmulo de bolhas de ar entre as fibras, um problema maximizado pelo tipo de moldagem por compressão.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Polímeros - LPol (UCS), ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LDSM (UFRGS) pelo apoio técnico e ao CNPq e à Capes pelo apoio financeiro.

## Referências Bibliográficas

1. J.T. Kim; A.N. Netravali. *Compos Part A-Appl S*, 2010, 41, 1245-1252.
2. M.A.S. Spinacé; C.S. Lambert; K.K.G. Fermoselli; M.A. De Paoli. *Carbohydr Polym*, 2009, 77, 47-53.
3. E. Sideris; G.A. Papadopoulos. *J Appl Polym Sci*, 2004, 93, 63-74.
4. F.F.Y. Tsang; Y.Z. Jin; K.N. Yu; C.M.L. Wu; R.K.Y. Li. *J Mater Sci Lett*, 2000, 19, 1155-1157.
5. Y. Seki. *Mat Sci Eng*, 2009, 508, 247-252.
6. G.V. Reddy; T.S. Rani; K.C. Rao; S.V. Naidu. *J Reinf Plast Comp*, 2009, 28, 1665-1677.
7. K.S. Ahmed; S. Vijayarangan. *J Master Process Tech*, 2008, 207, 330-335.
8. T.M. Gowdaa; A.C.B. Naidua; R. Chhayab. *Compos Part A*, 1999, 30, 277-284.
9. F.L. Mathews; R.D. Rawlings. *Composite Materials: Engineering and Science*, Ed.; Woodhead Publishing Ltd. and CRC Press, 1999, 470.
10. M.R. Wisnom; T. Reynolds; N. Gwilliam. *Compos Sci Technol*, 1996, 56, 93.
11. N.A. St John; J.R. Brown. *Compos Part A* 1998, 29A, 939-946.