

## **ESTUDO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO IOSIPESCU DE COMPÓSITOS DE FIBRAS DE VIDRO/PPS**

- Anahi Pereira da Costa<sup>1</sup>, Maria Cândida Magalhães de Faria<sup>1</sup>, Edson Cocchieri Botelho<sup>1</sup>, Luiz Claudio Pardini<sup>2</sup>. 1 - Inter-áreas – Engenharia de Materiais – Departamento de Materiais e Tecnologia – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá; 2 - Divisão de Materiais, Instituto de Aeronáutica e Espaço – CTA – São José dos Campos- SP.

Os compósitos poliméricos avançados oferecem a vantagem de aliar desempenho mecânico elevado com baixa massa específica (0,9 a 1,5 g/cm<sup>3</sup>) [Botelho, E. C., Rezende, M. C., 2000]. Nos últimos anos, vem ocorrendo um crescimento na utilização de matrizes termoplásticas, em substituição às termorrígidas. Dentre os compósitos termoplásticos, podem ser citados aqueles com matriz de (poli(sulfonas)) (PPS) que apresentam como principais características: baixa absorção de umidade; boas propriedades mecânicas e excelente resistência à corrosão química, além da facilidade de fabricação [Botelho, E. C., 2002]. Geralmente, compósitos avançados são reforçados com fibras longas dispostas de maneira que ocorra a máxima transferência das propriedades mecânicas da fibra para o compósito [Botelho, E. C., 2002]. Por este motivo, estes materiais vem sendo utilizados na fabricação de componentes estruturais, onde a determinação da resistência ao cisalhamento interlaminar é um parâmetro particularmente importante no projeto dessas estruturas. A falha por cisalhamento impede, por exemplo, a fabricação de grandes componentes estruturais primários de uso da indústria aeronáutica, minimizando a economia de peso das aeronaves [Botelho, E. C., Rezende, M. C., 2000].

A determinação da propriedade de cisalhamento é uma tarefa difícil, pois os compósitos apresentam uma natureza anisotrópica, não respondendo igualmente em todas as direções aos esforços aplicados. Esse tipo de ensaio deve fornecer uma região de cisalhamento pura e uniforme, ser reproduzível, não necessitar de um equipamento especial de ensaios e fornecer uma resposta de tensão/deformação confiável [Botelho, E. C., Rezende, M. C., 2002]. Para o resultado ser significativo, o modo de falha deve ser cisalhante ou apresentar uma deformação plástica com evidência de falha por delaminação. Neste caso, o Iosipescu é uma das melhores escolhas para determinar as propriedades de cisalhamento de materiais compósitos reforçados com fibras de alto módulo, que podem ser contínuas ou descontínuas, pois induz um estado de tensão pura de cisalhamento e as deformações são medidas por medidores de deformação, gerando valores para os módulos e tensão de cisalhamento [Wiebeck, H, Harada, J., 2005].

Dentro deste enfoque, esse trabalho tem como objetivo a caracterização do compósito PPS reforçado com tecido de fibras de vidro do tipo 8HS, quanto à resistência ao cisalhamento Iosipescu.

O material foi fornecido pela empresa holandesa TenCate e submetido, como recebido, a avaliação por microscopia óptica, sendo utilizado para esta finalidade um Microscópio Óptico NIKON, modelo EPIPHOT 200, no Laboratório de imagens (LAIMAT) da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Unesp.

O teor de fibra e matriz dos compósitos foram determinados por intermédio da digestão ácida, padronizada pela norma ASTM D3171. Este método forneceu o teor fibra/matriz por meio da média do teor de fibras de três amostras do laminado que sofreram o ataque de ácido sulfúrico em um Digestor Ácido da marca Marconi, existente no Laboratório de Compósitos da FEG/Unesp. Por meio da digestão ácida verificou-se que as amostras do compósito apresentam um teor de aproximadamente  $53 \pm 1$  % de fibras de vidro.

Os ensaios de cisalhamento Iosipescu foram realizados no Departamento de Materiais e Tecnologia da FEG/Unesp e na Divisão de Materiais do IAE/CTA, de acordo com a norma ASTM D 5379/D. Para este ensaio, o corpo-de-prova, apresentado na Figura 1-(a), consistiu de uma placa

retangular de 2,3mm de espessura, onde seu comprimento foi posicionado na direção da trama do laminado.

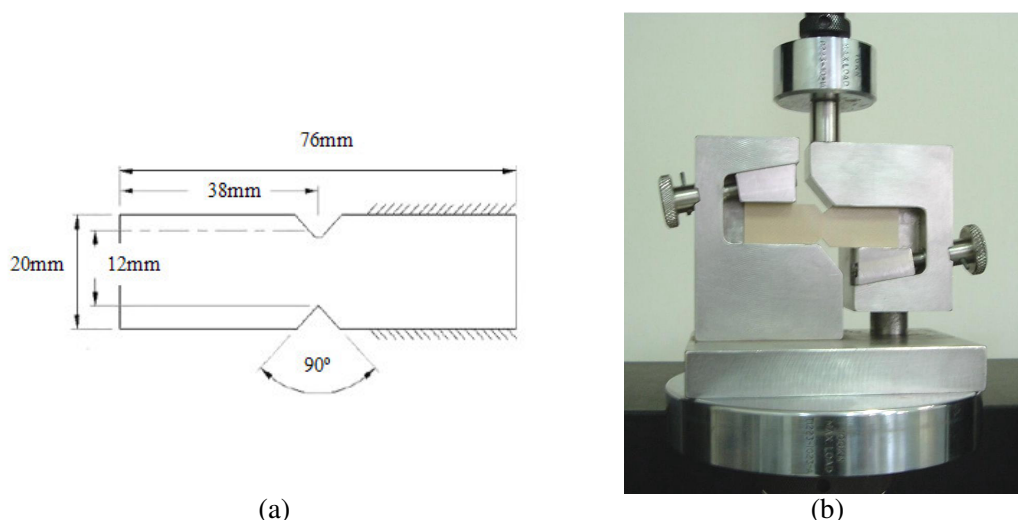
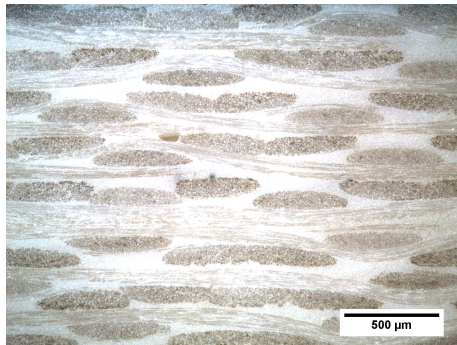


Figura 1 (a) Dimensões do corpo-de-prova; (b) Posicionamento e fixação do corpo-de-prova no dispositivo.

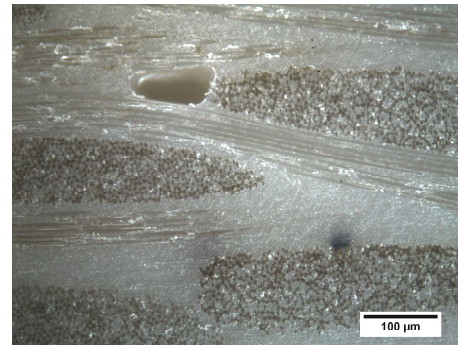
A Figura 2 apresenta uma fotomicrografia representativa, mostrando a secção transversal de uma amostra do laminado estudado neste trabalho. A análise indica, de uma maneira geral, uma boa infiltração e interface entre a matriz e o reforço, não sendo observado nenhum tipo de delaminação ou trinca. Entretanto, devido a uma má homogeneização pode-se notar a presença de regiões ricas em matriz e alguns vazios. Utilizando-se um aumento de 200x, nota-se nitidamente o formato triangular de vazios, característico de regiões entre a trama e o urdume do tecido. Essas regiões ricas em matriz e a presença de vazios se formaram durante o processamento do compósito e funcionam como concentradores de tensões, de onde, provavelmente, as trincas poderão ser iniciadas.

O comportamento do compósito, quando submetidos a ensaios de cisalhamento Iosipescu, pode ser evidenciado na Figura 3. A partir deste ensaio, foi observado que o material em análise apresentou uma deformação plástica antes de falhar, devido ao comportamento viscoelástico da matriz polimérica.

Tal comportamento pode ser evidenciado nas curvas de tensão de cisalhamento em função da deflexão, como apresentado na Figura 4, onde pode ser observado um crescimento monotônico da tensão com desvio da região elástica. Na tensão máxima não houve uma redução abrupta dos valores de tensão como esperado para tal ensaio, decaindo suavemente até o cisalhamento total. A curva mostrou-se característica de uma fratura dúctil, provavelmente devido à natureza viscoelástica da matriz termoplástica utilizada. Com isso a média da resistência ao cisalhamento Iosipescu encontrada para os oito corpos-de-prova foi de  $97,4 \pm 2,9$  MPa, sendo este valor elevado quando comparado a outros compósitos tradicionalmente utilizados tais como: fibra de carbono/epóxi com um valor de 93,2 MPa, e fibra de vidro/epóxi, com um valor de 88,3 MPa, segundo a literatura [Botelho, E. C., Rezende, M. C., 2000].

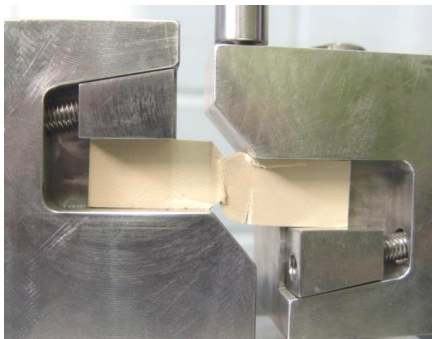


(a)

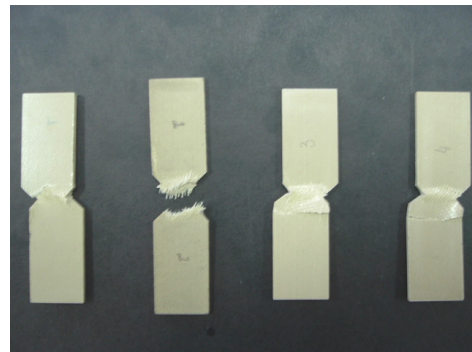


(b)

Figura 2. Fotomicrografias ópticas da amostra do compósito fibras de vidro/PPS: (a) Aumento de 50x; (b) Aumento de 200x.



(a)



(b)

Figura 3. Fotos da deformação e falha dos corpos-de-prova sob esforços.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o compósito PPS/fibra de vidro possui boa interface entre a matriz e o reforço, não apresentando nenhum tipo de delaminação ou trinca, porém apresentando regiões ricas em matriz e alguns vazios triangulares entre a trama e o urdume. Devido à natureza viscoelástica da matriz termoplástica, o corpo-de-prova deformou-se significativamente antes da fratura, apresentando uma fratura dúctil. O valor de tensão de cisalhamento Iosipescu máxima encontrada para o compósito PPS/fibra de vidro, foi de aproximadamente 97MPa sendo este elevado quando comparado a outras matrizes convencionalmente utilizadas no setor aeroespacial.

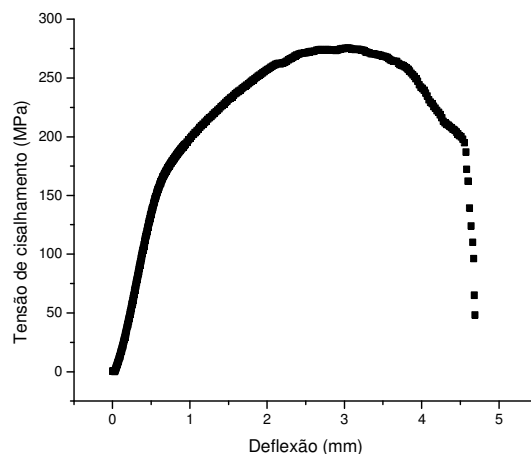


Figura 4. Curva tensão de cisalhamento em função da deflexão.

#### Agradecimentos:

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq/PIBIC/CTA e à FAPESP pelo auxílio financeiro.

#### Referência Bibliográfica

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5379/D 5379M-93**. Standard test methods for determining desing allowables for shear properties of composite materials by the v-notched beam method, 1993.

BOTELHO, EDSON C.; REZENDE, MIRABEL C. O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol 10, nº 2, 2000.

BOTELHO, EDSON C. **Compósitos aeronáuticos processados a partir de fibras de carbono impregnadas com poliamida 6/6 via processo de polimerização interfacial**. Tese de doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2002.

BOTELHO, EDSON C.; REZENDE, MIRABEL C.. Caracterização Mecânica de Compósitos de Poliamida/Fibra de Carbono Via Ensaios de Cisalhamento Interlaminar e de Mecânica da Fratura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 12, nº 3, p. 153-163, 2002.

WIEBECK, HÉLIO; HARADA, JÚLIO. **Plásticos de Engenharia, Tecnologia e aplicações**; p.149-154; São Paulo: Artliber Editora, 2005.