

AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA E MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE FIBRAS DE VIDRO/EPÓXI - Luís Gustavo Mitsusawa¹, Luiz C. Pardini², Antônio C. A. Júnior³, Edson C. Botelho¹ — Engenharia Aeroespacial – Engenharia de Materiais –

1- 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; 3 – EMBRAER – São José dos Campos, SP.

Atualmente, a diversidade de materiais disponíveis para uso em engenharia é extraordinariamente grande, atendendo às mais diversas aplicações do mercado. Dentro desse contexto, os compósitos poliméricos apresentam-se como um caso de reconhecido interesse em materiais de engenharia não convencionais. A grande utilização desses materiais na indústria aeronáutica deve-se a uma combinação favorável de baixa massa específica ($0,9$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$) com elevado desempenho mecânico, indo ao encontro de uma série de exigências crescentes às quais as aeronaves têm sido submetidas como, por exemplo: aumento da relação empuxo/peso, aumento da carga a ser transportada, entre outras [Callister, W. D, 2004; Canevarolo, S. V., 2005].

Dentre os materiais compósitos que vêm sendo utilizados atualmente na indústria aeronáutica, se destacam os compósitos obtidos a partir de fibras de vidro/epóxi, devido à sua baixa massa específica aliada a suas boas propriedades mecânicas. Quando comparados aos compósitos obtidos com fibras de carbono, estes compósitos apresentam como vantagens seu baixo custo e melhores propriedades quanto ao isolamento elétrico de sistemas. Tais propriedades garantem a esta classe de materiais aplicações secundárias em aeronaves comerciais [Kirk, O., 1988; Botelho, E. C., 2005].

Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades morfológicas e mecânicas de compósitos poliméricos termorrígidos com matriz epóxi reforçados com fibras de vidro, a partir de ensaios de resistência à tração e microscopia óptica. Estes compósitos foram laminados e processados na EMBRAER, utilizando-se um sistema de moldagem em autoclave. Com o objetivo de avaliar o conteúdo volumétrico das fibras de vidro, neste trabalho foram realizados ensaios de termogravimetria e digestão ácida.

Neste trabalho foram utilizados compósitos de fibras de vidro/epóxi, processados em forma de placas e com reforço na forma de tecido do tipo plain weave. Estes compósitos foram processados em autoclave, na EMBRAER.

Para a avaliação morfológica do material, foram realizadas análises por microscopia óptica nos laboratórios de microscopia da FEG/ UNESP. A amostra foi embutida em resina acrílica e tratada em lixas de 100, 200, 320, 400, 600 e 1000 mech e polida com pasta de diamante de $6\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$.

Análises por digestão ácida foram realizadas de acordo com a norma ASTM D 3171-76, em um digestor da Marconi. Análises por termogravimetria foram realizadas em um equipamento da Perkin Elmer modelo TGA 7. Durante esta análise foram utilizados como parâmetros: razão de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, atmosfera de nitrogênio com fluxo constante de $20 \text{ mL}/\text{min}$ e varredura entre 30°C até 1000°C .

Ensaio de resistência à tração foram realizados de acordo com a norma ASTM 3039, utilizando uma máquina universal INSTRON modelo 8801.

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados da análise fractográfica dos compósitos de fibras de vidro/epóxi estudados neste trabalho. A partir destes resultados, foram observados alguns defeitos que surgiram durante o processamento destes compósitos. Estes defeitos podem resultar em menores valores quanto à resistência mecânica do compósito.

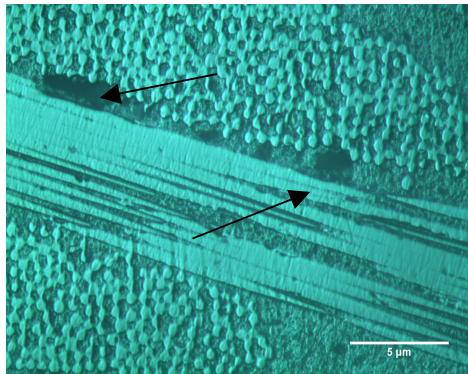


Figura 1. Microscopia com ampliação de 500x

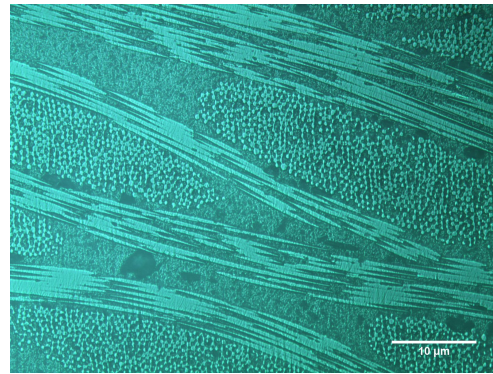


Figura 2. Microscopia com ampliação de 200x

Com o objetivo de avaliar o teor fibra/matriz do compósito em estudo, foram realizados ensaios de digestão ácida e TGA, como apresentado na Tabela 1 e Figura 3. Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi observado uma diferença de 20% entre os resultados do teor de fibras entre as análises de TGA e digestão ácida. Esta diferença foi devido às dificuldades experimentais durante as análises de digestão ácida, pois, durante a transferência das fibras extraídas, ocorreram problemas que resultaram em uma pequena perda do reforço.

Tabela 1. Resultados de teores volumétricos de fibras obtidos a partir dos ensaios de TGA e de digestão ácida.

Ensaio	Teor de fibra (%)	Teor de matriz (%)
TGA	57±2	43±2
Digestão Ácida	46±4	54±4

Os valores de teores de fibras e matriz foram utilizados para a obtenção do módulo teórico de elasticidade, a partir da regra das misturas, como apresentado na equação 1:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad \text{equação 1}$$

onde: V_f = volume de fibras de vidro; V_m = volume da matriz; E_f = valor do módulo elástico para o reforço e E_m = valor do módulo elástico para a matriz.

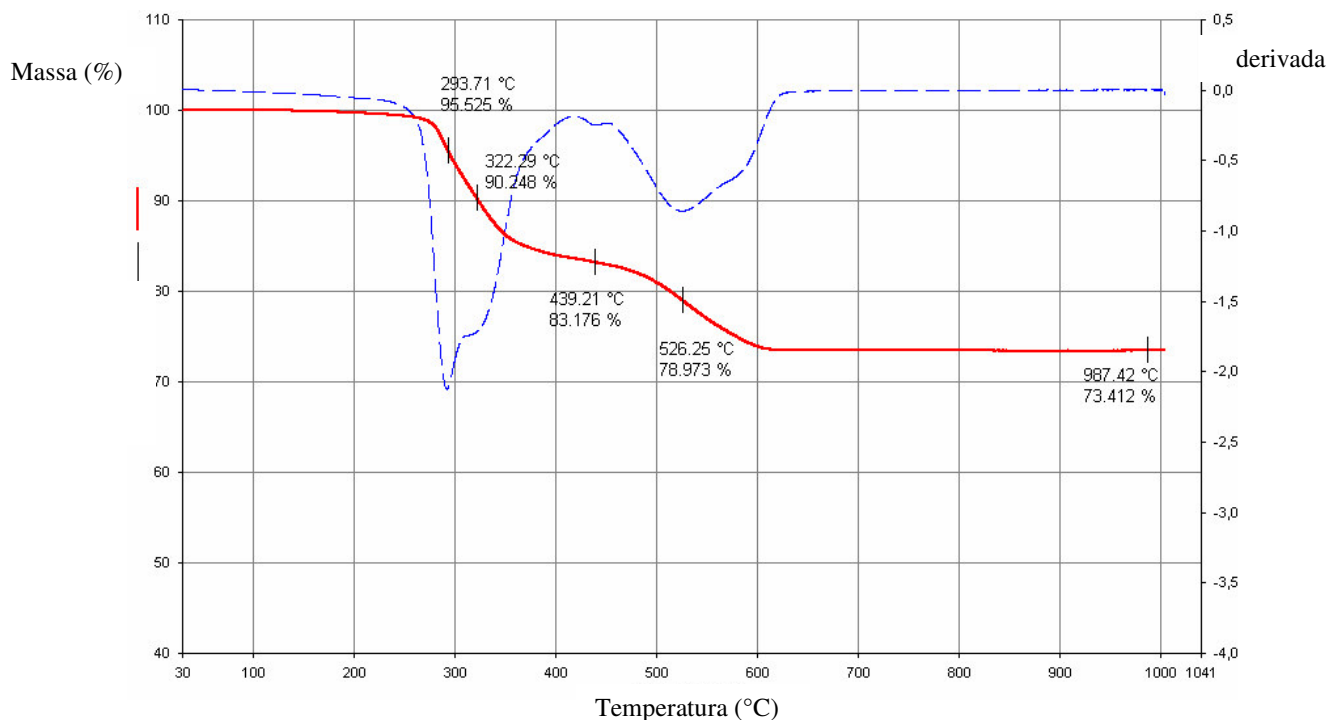


Figura 3. Resultados de TGA obtidos para o compósito de fibra de vidro/epóxi.

O valor do módulo elástico do compósito foi calculado a partir dos valores de E teórico da matriz (3,2 GPa) e da fibra (72 GPa), ambos obtidos da literatura [Botelho, E. C., 2005]. O valor obtido a partir da regra das misturas foi comparado com os valores obtidos experimentalmente.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio de resistência à tração. Como pode ser observado, o valor experimental do módulo elástico encontrado foi de 42,6GPa, portanto, apenas 5% inferior ao valor obtido pela regra das misturas (45,02 GPa). Esta diferença é devido ao cálculo teórico não levar em consideração os efeitos da interface existente entre a fibra e a matriz e a existência de pequenas falhas que ocorreram durante a etapa de processamento, como evidenciado nas Figuras 1 e 2 deste trabalho.

Tabela 2. Resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à tração.

	Valor médio (GPa)	Desvio padrão (%)
Resistência	0,88	0,6
Módulo	42,6	1,0

A partir deste estudo, pode ser concluído que as técnicas de digestão ácida e TGA podem ser utilizadas na obtenção dos teores de fibras e matriz do compósito, entretanto, a técnica de TGA se apresentou como mais eficiente. Os compósitos processados neste trabalho apresentaram, também, valores do módulo de elasticidade inferiores aos valores obtidos teoricamente, entretanto, devido à pequena diferença observada, estes compósitos podem ser utilizados em aplicações estruturais.

Agradecimentos: os autores gostariam de agradecer à FAPESP (projeto nº 05/54358-7) e à EMBRAER.

Referências Bibliográficas:

- 1 - CALLISTER, W.D., **Ciencia e Engenharia de Materiais, Uma Introdução**, 5 edição, 2004.
- 2 - CANEVAROLO, S. V., **Técnica de Caracterização de Polimeros**, 2005.
- 3 – KIRK, G. E. The Composite Aeroengineer, Reinforced Composites, 3th - *International Conference*, Universidade de Liverpool, Inglaterra, 1988.
- 4 – BOTELHO, E. C., COSTA, M. L., PARDINI, L. C., REZENDE, M. C., Processing and Hygrothermal Effects on Viscoelastic Behavior of Glass Fiber/Epoxy Composites, **Journal of Materials Science**, 40, pp. 3615-3623, 2005.