

# **AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA EM COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS DE FIBRAS CONTÍNUAS/PEI -**

Gustavo H. Oliveira<sup>1</sup>; Rogério L. Mazur<sup>1</sup>; Edson C. Botelho<sup>1</sup>; Pedro C. de Oliveira<sup>2</sup> – Engenharia Aeroespacial – Engenharia de Materiais – 1 - Departamento de Materiais e Tecnologia – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá; 2 - Departamento de Química-USP-Lorena-SP.

A competição na indústria aeronáutica e os requisitos de desenvolvimento visando a obtenção de novos materiais que apresentem maiores valores de resistência mecânica, química e térmica associados à baixa massa específica constituem em grandes desafios. Por esse motivo, os compósitos termoplásticos vêm conquistando espaço por apresentarem algumas vantagens quando comparados aos compósitos termorrígidos convencionais (fibras de carbono/epóxi), tais como: processamento mais rápido pela ausência de um ciclo de cura, baixo custo de transporte e estocagem, maior temperatura de serviço e possibilidade de serem reciclados [ASM, 1988; Botelho, E. C., 2002].

Um dos fatores fundamentais para o avanço no desenvolvimento de peças em compósitos termoplásticos consiste no estabelecimento de processos de conformação com custos competitivos e adequados a estes materiais com elevadas temperaturas de processamento e mecanismos de deformação diferentes dos conhecidos materiais metálicos [Rezende, M. C., Botelho, E. C., 2000, Gradin, P., 1989].

A matriz PEI (poli (éter-imida)) consiste em um polímero amorfo que, além das propriedades anteriormente descritas, apresenta baixa absorção de umidade e excelentes resistências química, mecânica e rigidez em elevadas temperaturas. Esta matriz polimérica também apresenta uma elevada temperatura de transição vítrea (~217°C), quando comparado com outras matrizes termoplásticas que vêm sendo utilizadas no setor aeroespacial [Rezende, M. C., Botelho, E. C., 2000; ASM, 1988].

Dentro deste contexto e devido a constante atualização tecnológica na indústria aeronáutica e do interesse da utilização destes materiais pela EMBRAER, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da temperatura de transição vítrea em compósitos de fibras contínuas/PEI com o auxílio da análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA), visando a obtenção de um banco de dados para futuras aplicações no setor aeroespacial.

Para a realização deste trabalho foram utilizados compósitos de fibras de carbono e vidro impregnados com a matriz polimérica PEI, processados em forma de placas e com reforço em tecido do tipo 5HS e 8HS, respectivamente. Estes laminados foram cedidos pela empresa Ten Cate (Holanda).

As análises dinâmico-mecânicas foram realizada em um equipamento DMTA da *TA Instruments*, modelo 2980, sob solicitação mecânica do tipo flexão por dois pontos. Para estas análises, as amostras dos compósitos foram cortadas nas dimensões aproximadas de 50 mm de comprimento, 11 mm de largura e 2,3 mm de espessura, e submetidas à análise por varredura dinâmica. As amostras foram aquecidas a uma razão de aquecimento de 3°C/min, da temperatura ambiente até 300°C. Durante estas análises, foram estabelecidos como parâmetros de análise: frequência de 1 Hz e oscilação de 20  $\mu$ m.

A análise química pelo método de digestão ácida foi baseada na norma ASTM D 3171-76 e teve como objetivo verificar o teor de fibra/matriz dos compósitos. Com este mesmo objetivo, também foram realizadas análises termogravimétricas, utilizando um equipamento da Perkin Elmer, modelo TGA-7, a uma razão de aquecimento de 10°C/min, sob fluxo constante de nitrogênio (20 mL/min). Ambas as análises apresentaram resultados próximos quando aos valores do teor de fibras, sendo estes em 58% e 57%, para fibras de carbono e vidro, respectivamente.

Na Figura 1 encontram-se apresentadas as curvas do módulo de armazenamento das amostras dos compósitos de fibras de carbono/PEI e fibras de vidro/PEI, obtidas a partir das análises de DMTA. Como pode ser observado, não ocorreu nenhum decréscimo do módulo de armazenamento até a temperatura de cerca de 190°C e 175°C, respectivamente, apresentando, nesta faixa de temperatura, um valor de aproximadamente 15 GPa. Entretanto, este módulo apresenta uma queda brusca após temperaturas superiores às anteriormente apresentadas, devido à passagem da região vítrea para uma região mais “borrachosa” (transição vítrea).

A partir de dados disponíveis em literatura, pode ser constatado que para um polímero amorfo sem carga, o módulo de armazenamento na região de comportamento vítreo é da ordem de 10 GPa, entretanto, este material sofre uma variação brusca da ordem de  $10^3$  a  $10^4$  MPa na região da transição vítreo [Sichina, W. J., 1999, Wetton, R. E., 1986]. Um comportamento análogo pôde ser observado no presente trabalho onde foi verificado que o módulo de armazenamento na região de comportamento vítreo para os dois compósitos foi da ordem de  $10^{10}$  Pa, sofrendo uma variação da ordem de  $10^2$  MPa na região de transição vítreo.

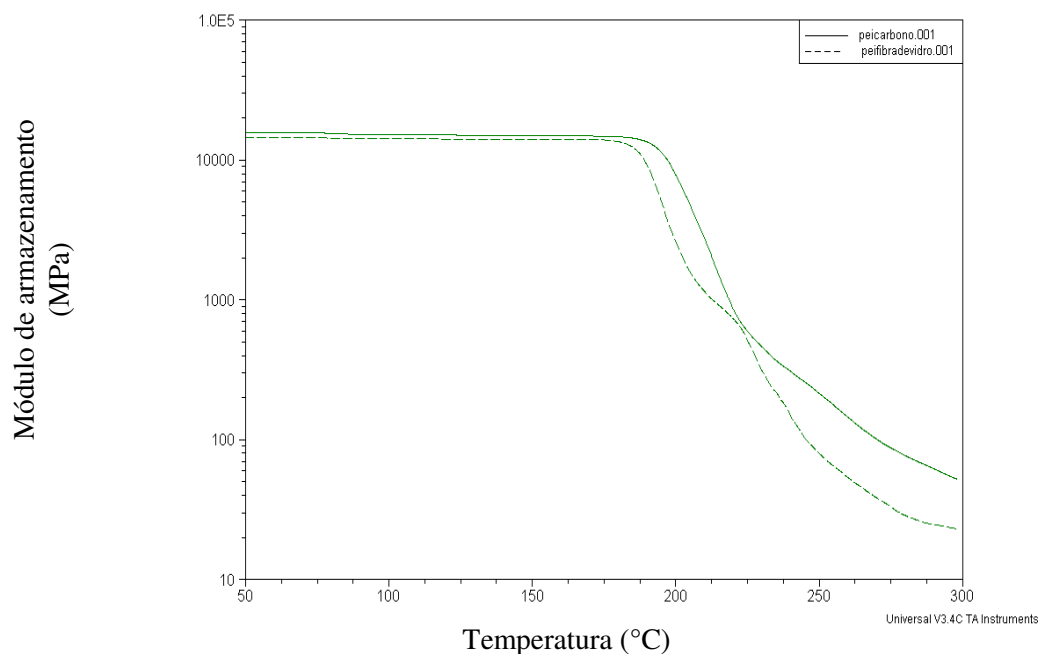


Figura 1. Curva de DMA – Módulo de Armazenamento.

A partir das Figuras 2 e 3 pode ser observado a ocorrência de um aumento nos valores do módulo de perda e de tan delta para o compósito de fibras de vidro a partir de 175°C e para o compósito de fibra de carbono a partir de 190°C, respectivamente, caracterizando a região de transição vítreo ( $T_g$ ) destes materiais.

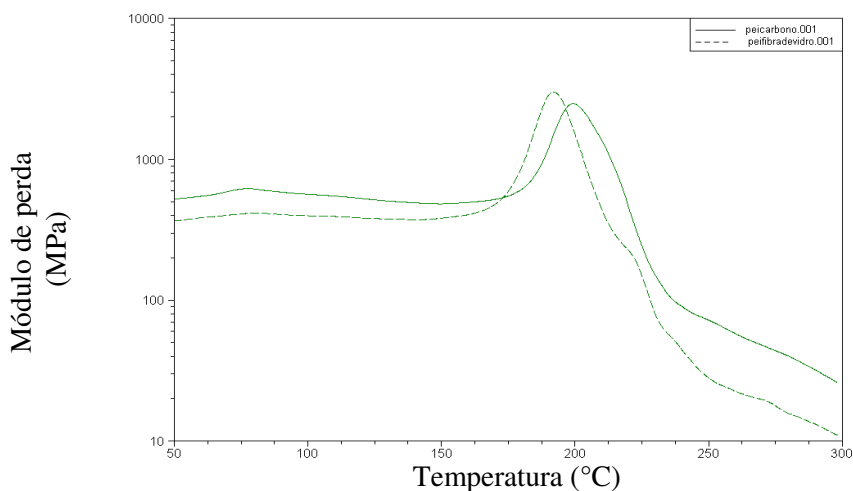


Figura 2. Curva de DMA – Módulo de Perda.

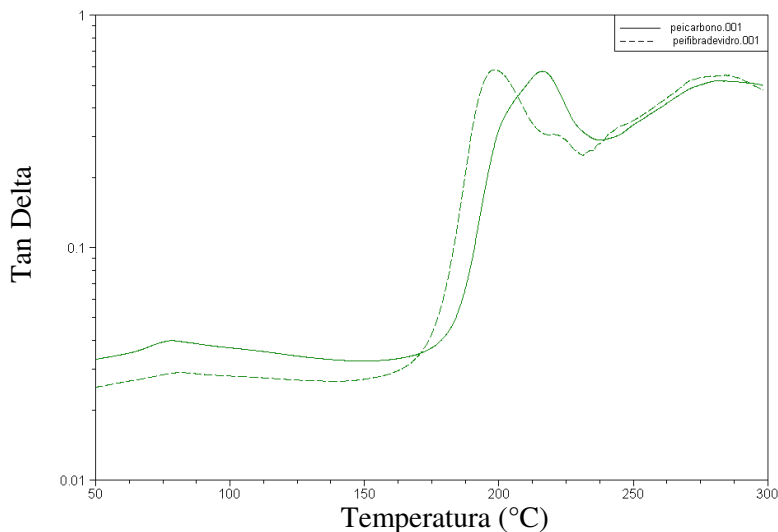


Figura 3. Curva de DMA – Tan Delta.

Neste trabalho foi adotado a determinação da temperatura de transição vítrea a partir do valor máximo do módulo de perda, como apresentado na Figura 2. Desta forma, os valores de transição vítrea encontrados para os compósitos de fibras de vidro e carbono, a partir da avaliação dos módulos de armazenamento, foram 185°C e 190°C, respectivamente. Considerando que em ambos os compósitos foram utilizados a mesma matriz polimérica, esta diferença entre as temperaturas de transição vítrea pode ser atribuída a contribuição da interface entre os diferentes tipos de reforços e a matriz.

A temperatura de transição vítrea de um compósito de fibra de carbono e matriz de resina epóxi (F584), muito utilizado na indústria aeronáutica, é de aproximadamente 150°C, sendo sua temperatura máxima de serviço de 125°C [Costa, M. L., 2003]. Sendo assim, os materiais termoplásticos estudados neste trabalho apresentaram maiores valores de temperaturas de transição vítrea e, conseqüentemente, maiores valores de temperatura de serviço para aplicações aeroespaciais.

A partir do presente trabalho, pôde ser concluído que a utilização da técnica de DMTA é uma excelente ferramenta para estudar os efeitos da temperatura de transição vítrea de materiais compósitos, permitindo a adequada seleção de materiais a serem utilizados no setor aeroespacial. Neste trabalho, foi verificado que a  $T_g$  dos compósitos de fibras de carbono/PEI e fibras de vidro/PEI foi de 175°C e 190°C, respectivamente. Comparados a um termorrígido convencionalmente utilizado na indústria aeronáutica, os compósitos termoplásticos apresentarão melhores condições de uso.

#### Agradecimentos:

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP pelo auxílio financeiro.

#### Referências Bibliográficas

*ASM International Engineered Materials Handbook: Engineering Plastics*, 1ª edição, p.156-158, 1988.

Botelho, E. C.; **Compósitos Aeronáuticos Processados a Partir de Fibra de Carbono Impregnadas com Poliamida 6/6 Via processo de Polimerização Interfacial**, Tese de doutorado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2002.

Costa, M.L.; Paiva, J.M.F. de; Botelho, E.C.; Rezende, M.C.; **Avaliação Térmica e Reológica do Ciclo de Cura do Pré-Impregnado de Carbono/Epóxi**, *Polímeros: Ciência e Tecnologia* 13, 3, p.188-197, 2003.

Gradin, P.; Howgate, P. G.; Seldén, R.; Brown, R. **Comprehensive Polymer Science**; Allen, G.; Bevington, J. C.; Booth, C.; Price, C., eds.; 1st ed.; Pergamon Press: New York, vol. 2, p. 533, 1989.

Rezende, M. C.; Botelho, E. C.; **O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial**, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol 10, nº 2, p. 2000.

Sichina, W. J. **Applications of the Time-Temperature Superposition Principle**, Catálogo da Du Pont. Applications Brief, 1999.

Wetton, R. E. **Developments in Polymer Characterization**; Dawkins, J. V., ed.; Elsevier Applied Sci. Publishers: London, p. 179, 1986.