

# **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FADIGA DE LAMINADOS METAL-FIBRA DO TIPO CARALL**

- Cesar Augusto Damato<sup>1</sup>, Thiago Ribas Padula<sup>1</sup>, Luiz Cláudio Pardini<sup>2</sup>, Mirabel Cerqueira Rezende<sup>2</sup>, Edson Cocchieri Botelho<sup>1</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

O contínuo desenvolvimento tecnológico requer materiais de engenharia cada vez mais sofisticados e avançados devido às suas aplicações cada vez mais específicas. Nesse contexto, surgiram os materiais compósitos que vêm se tornando cada vez mais solicitados no mercado. A indústria aeronáutica é uma das que mais utilizam materiais compósitos e, a partir deste setor, surgiram os compósitos híbridos, aumentando a gama de possibilidades de aplicações dos compósitos. Na universidade de Delft na Holanda, foi desenvolvida uma nova classe de compósitos híbridos, a classe dos Laminados Metal-Fibra (*CHMF*). Esses materiais são de grande interesse para a indústria aeronáutica devido à combinação de propriedades como baixa massa específica e elevado desempenho mecânico. A redução de peso que os *CHMF* possibilitam quando aplicados na fuselagem de uma aeronave significa uma elevada economia, seja pelo menor gasto de combustível ou maior autonomia da aeronave, seja pela maior carga que a aeronave poderá transportar. Estima-se que a utilização de um *CHMF* na fuselagem de uma aeronave pode proporcionar uma redução de aproximadamente 25 % em seu peso total, resultando em uma economia de cerca de 280 mil dólares a cada quilograma reduzido. Reconhecendo essas características, empresas como a Boeing, Bombardier, Aerospaiale e instituições de pesquisa como a NASA e a Delft (Holanda), já estão trabalhando com este material, o que despertou interesse em algumas empresas e instituições no Brasil. Diante disso, a indústria aeronáutica tem procurado dominar a aplicação dos *CHMF* e, por isso, têm sido realizados estudos cada vez mais aprofundados das propriedades desses materiais de modo que eles atendam a todas as rigorosas exigências e condições que a indústria aeronáutica impõe [Engineer's, 2002; Callister, J. R., 1999].

Os *CHMF* atualmente mais utilizados consistem de uma estrutura híbrida onde são dispostas camadas alternadas de 0,2 a 0,5 mm de um compósito polimérico (fibra/epóxi) e de uma liga de alumínio (Figura 1). O compósito polimérico pode ser posicionado simetricamente sobre a placa de alumínio ou posicionado variando-se a orientação das fibras em  $\pm 45^\circ$  [D. Hull, 2000; Kirk, G. E., 1988].

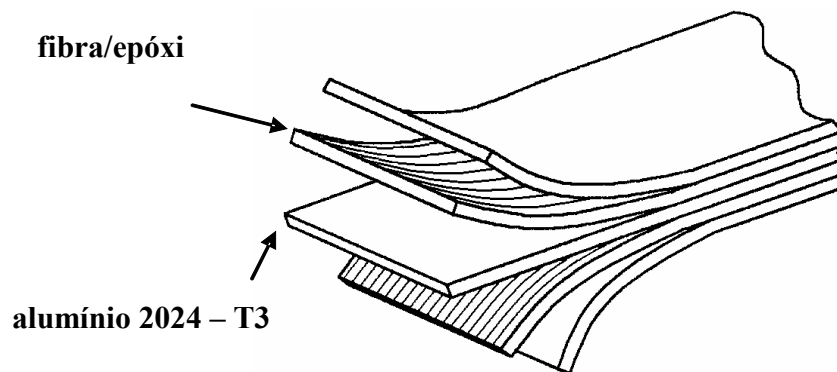


Figura 1. Esquema da configuração de um *CHMF*.

Algumas propriedades e características que se destacam nesses materiais, quando comparados a seus constituintes isolados (compósito e/ou ligas de alumínio), são: baixas taxas de propagação de trincas; baixa absorção de umidade (menos de 0,5%) quando comparado ao compósito polimérico; resistência

mecânica melhorada em 60% quando comparado ao alumínio; processamento já conhecido pela indústria de compósito nacional, pois se assemelha ao processamento dos compósitos poliméricos e elevada resistência ao impacto [Liu, K, 1995; Botelho, E. C., 2004; Vlot, A., 2001].

O *CARALL* representa a terceira geração de *CHMF* que surgiu no mercado. Este é constituído de camadas de compósitos de fibras de carbono/epóxi dispostas alternadamente com placas de liga de alumínio 2024-T3, formando uma estrutura do tipo sanduíche, com as placas de alumínio cobrindo as camadas externas. A combinação desses materiais distintos resulta em um material com elevados valores de propriedades mecânicas, elevada tolerância ao dano, e ao contrário de alguns compósitos poliméricos convencionais, uma baixa absorção de umidade. Esta característica faz com que a indústria aeroespacial tenha um grande interesse nos *CHMF*, uma vez que as aeronaves voam em elevadas altitudes, onde a umidade relativa do ar é mais elevada. Este fato é extremamente relevante para justificar a aplicação dos *CHMF*, principalmente o *CARALL*, na fuselagem dos aviões. A redução da absorção de umidade dos *CHMF* com relação aos compósitos poliméricos convencionais ocorre devido às laminas de alumínio estarem dispostas nas extremidades, permitindo que a água só penetre na estrutura do material pelas bordas. Contudo, em algumas condições particulares, as fibras de carbono podem sofrer corrosão galvânica quando em contato com o alumínio comprometendo, seriamente, a resistência do laminado [Liu, K, 1995; Botelho, E. C., 2004; Vlot, A., 2001].

A nomenclatura dos *CHMF* pode ser designada por uma seqüência do tipo m/n, onde m é o número de lâminas de alumínio e n é o número de lâminas do compósito polimérico. Por exemplo, um *CARALL 3/2 – 0,4* consiste em um laminado com três camadas de liga de alumínio 2024-T3 e duas camadas do compósito polimérico de fibra de carbono/epóxi, sendo que a lâmina de alumínio possui uma espessura de 0,4 mm [Liu, K, 1995; Botelho, E. C., 2004; Vlot, A., 2001].

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência mecânica do *CARALL* via ensaios de fadiga e somar um conjunto de informações que, futuramente, permitirão que as primeiras gerações de *CHMF* possam ser substituídas por novas estruturas, com uma vida útil em serviço mais elevada. Os resultados obtidos a partir dos ensaios de fadiga de corpos-de-prova do *CARALL*, serão comparados aos valores de resistência à fadiga do compósito polimérico de resina epóxi reforçado com fibras de carbono.

Neste trabalho, os corpos-de-prova de *CARALL* foram confeccionados de acordo com a norma *ASTM E 466 – 96*. Durante o processamento, as ligas de alumínio 2024-T3 foram submetidas a um tratamento conhecido como anodização sulfo-bórica, com o intuito de melhorar a adesão entre a fibra e a matriz. Ensaios de resistência à tração foram realizados em ambos os materiais, fibra de carbono/epóxi e *CARALL* de acordo com a norma *ASTM - 3039*, para se determinar a carga de ruptura destes materiais e, com isso, selecionar as cargas de resistência à fadiga a serem utilizadas para se levantar a curva de fadiga. Esses ensaios foram realizados em uma Máquina Instron modelo 8801 (ensaio de tração e fadiga), disponível no laboratório de fadiga da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP.

A Figura 2 apresenta a fotomicrografia do *CARALL* estudado neste trabalho. Como pode ser observado, as camadas de alumínio 2024-T3 e fibras de carbono apresentaram uma boa interface. A partir desta Figura, pode ser também observado uma boa homogeneidade da resina no compósito, não apresentando vazios ou defeitos que poderiam interferir nos resultados obtidos a partir dos ensaios mecânicos.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à tração para o compósito de fibras de carbono/epóxi e para o *CARALL*. A partir destes resultados foi possível a obtenção dos gráficos de fadiga, conforme é apresentado na Figura 3. Analisando as curvas de resistência à fadiga da Figura 3, pode ser observado que submetendo os corpos-de-prova de *CARALL* a tensões cíclicas próximas e não inferiores a 200 MPa, o número de ciclos suportados excedeu a 1 milhão, podendo-se em alguns casos, considerar uma vida útil infinita do material, ou seja, seu limite de resistência à fadiga.

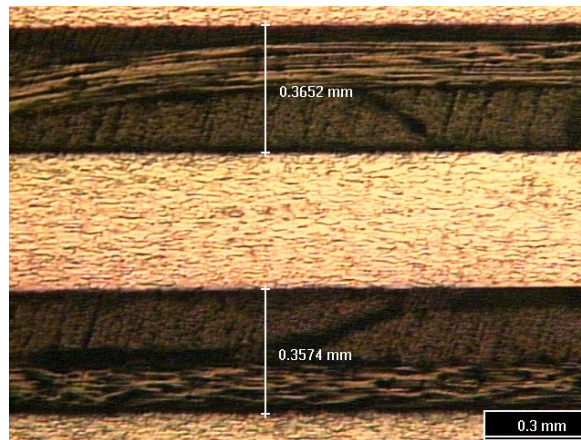


Figura 2. Microscopia do Carall estudado.

Tabela 1. Resultado de resistência à tração para o compósito de fibras de carbono/epóxi e Carall.

Compósito	$\sigma_{ult}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (GPa)
Carbono/epóxi	1160±37	1.74±0,06	67,2±4
Carall	568 ±17	1,48±0,1	69,3±1,1

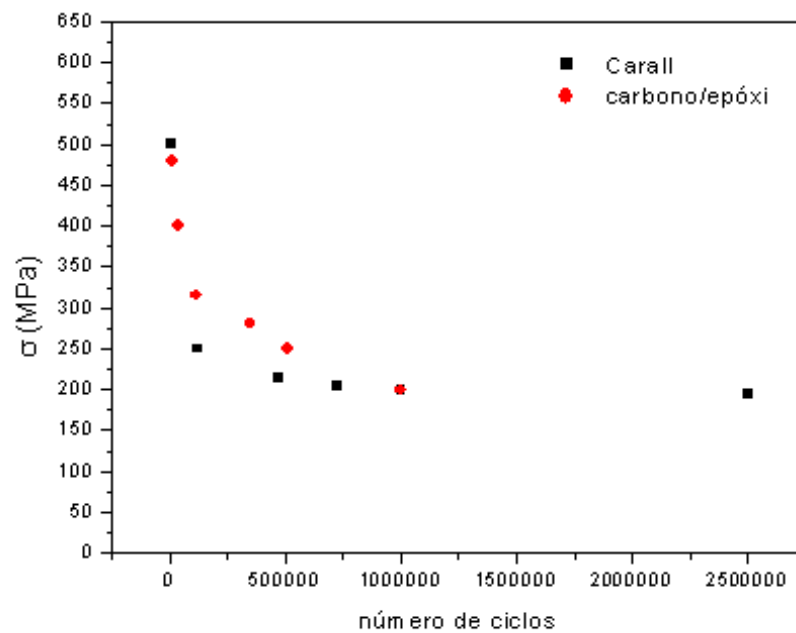


Figura 3 – Gráfico das curvas de Fadiga do CARALL e do compósito de fibras de carbono/epóxi.

Quando comparado aos compósitos de fibras de carbono/epóxi, foi observado que, embora o perfil da curva apresente algumas diferenças, as cargas que ambos os materiais suportam em fadiga são

próximas, tanto para baixo quanto para alto ciclos, apesar do compósito de fibra de carbono/epóxi apresentar uma resistência à tração superior a do CARALL.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode ser concluído que o compósito híbrido CARALL foi processado com eficiência, resultando em um híbrido metal-fibra de qualidade. Apesar de suportar cargas de ruptura inferiores as do compósito de fibra de carbono/epóxi, o CARALL apresenta uma boa resistência à fadiga.

#### **Agradecimentos:**

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

#### **Referências Bibliográficas**

BOTELHO, E. C., SILVA, R. A., PARDINI, L. C., REZENDE, M. C., Evaluation of Adhesion of Continuous Fiber-Epoxy Composite/Aluminum Laminates, **Journal of Adhesion Science and Technology**, 18 (15-16), pp. 1799-1813, 2004.

CALLISTER JR., W.D, **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. Jon Wiley & Sons, Inc., 1999.

D. HULL ; T.W CLYNE. **An Introduction to Composite Materials**. Second Edition. Cambridge, 2000.

“**Engineer’s Guide to Composite Materials**”, American Society for Metals, 2002.

KIRK, G. E. The Composite Aeroengineer, Reinforced Composites, 3<sup>th</sup> - **International Conference**, Universidade de Liverpool, Inglaterra, 1988

LIU, K., PIGGOTT, M. R. **Shear strength of polymers and fibre composites**, 1995

VLOT, A., GUNNINK, J. W., **Fiber Metal Laminates**, Kluwer Academic Publishers, First edition, 2001.