

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO COMPÓSITO DE POLIAMIDA COM REFORÇO DE FIBRA DE VIDRO NO SUPORTE DO COXIM DE MOTORES AUTOMOTIVOS

L.C. Silva¹, A.A. Couto^{1,2}, R. Baldan², J. Vatauvuk¹

Av. Lineu Prestes, 2.242, São Paulo, SP, CEP: 05508-900, e-mail: acouto@ipen.br

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM, São Paulo, Brazil.

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo, Brazil.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a substituição do suporte de alumínio do coxim do motor pelo compósito de poliamida reforçado com fibra de vidro. O compósito utilizado foi à poliamida comercial PA 6.6 com 30%, 35%, 50% de fibra de vidro. Os ensaios de fadiga foram executados em flexão a 120°C, utilizando-se o Método Staircase. Os resultados obtidos nos ensaios de fadiga permitiram concluir que o compósito de poliamida com 50% de fibra de vidro apresenta a menor deflexão. As observações das superfícies de fratura evidenciaram a excelente aderência da poliamida na fibra de vidro. Contudo, os valores de deflexão foram sistematicamente maiores nos compósitos em relação à liga de alumínio. Os resultados dos ensaios demonstram um bom comportamento do compósito de poliamida, dando indícios sobre a viabilidade de utilização na substituição da liga de alumínio, com uma redução em massa de 0,2 kg (32%).

Palavras-chave: compósito, poliamida, fibra de vidro, fadiga

INTRODUÇÃO

Existe uma busca incessante no mercado automobilístico em reduzir a massa dos veículos visando o aumento de desempenho. Sendo assim, a substituição de componentes metálicos por polímeros ou compósito de base polimérica tem aumentado continuamente nos automóveis. Tradicionalmente, os coxins utilizam metais como o alumínio e o aço em seus suportes. Esses metais oferecem grande resistência à fadiga e sua degradação na temperatura transmitida pelos motores é

muito pequena. Devido à necessidade de diminuir a massa dos veículos para aumentar o desempenho, a substituição destes materiais metálicos por compósitos de menor densidade tem sido uma prática usual na indústria automotiva. Neste estudo foi investigado o compósito de poliamida reforçado com fibra de vidro, obtido comercialmente no mercado, com propriedades adequadas para substituir o suporte de alumínio do coxim motor. Dentre as poliamidas existentes destaca-se a 6.6 (PA 6.6) com reforço de fibra de vidro em sua composição. Este compósito, mesmo exposto ao tempo, oferece uma grande resistência mecânica, tem um baixo coeficiente de atrito, altas temperaturas de fusão, boa resistência à fadiga e potencial para tornar-se um material com boa resistência mecânica em temperaturas elevadas. O objetivo deste trabalho é analisar a utilização do compósito de poliamida reforçado com fibra de vidro para substituir o suporte de alumínio do coxim motor. Para isto, serão investigadas as propriedades em fadiga dos compósitos na mesma temperatura de operação do suporte metálico (120°C).

PARTE EXPERIMENTAL

Neste estudo foram utilizados os compósitos de poliamida fornecidos em grãos com percentual de fibra de vidro de 30, 35 e 50%, designados como PA 6.6 GF30, PA 6.6 GF35 e PA 6.6 GF50, respectivamente. A fibra de vidro contida no compósito é classificada como curta, tendo seu comprimento de 4,5 mm com diâmetro de 10 µm. A injeção dos corpos-de-prova do tipo de flexão para a realização dos ensaios de fadiga foi realizada em máquina injetora Romi 65R com capacidade de pressão de 175 bar, temperatura de alimentação de 280°C e temperatura do molde de 50°C. Os ensaios de flexão e de fadiga foram realizados em uma máquina MTS 810 Shock Absorber Test System Software Test Star II com uma célula de carga com capacidade para 15 kN e uma estufa Coel com possibilidade de temperatura máxima de 200°C. Os ensaios de flexão e de fadiga foram realizados a 120°C em decorrência da temperatura de trabalho do coxim do motor. O ensaio de flexão foi realizado com uma velocidade de 20 mm/min e o ensaio de fadiga com uma frequência de 25 Hz.

Os valores iniciais de tensão para utilização do Método Staircase foram determinados por meio da curva carregamento-deflexão nos ensaios de flexão e na sequência pelo Método Locati. A partir da curva carregamento-deflexão foram obtidos os valores iniciais para utilização no Método Locati, que corresponderam a

70% da tensão a 0,2% de deformação plástica. Os ensaios de fadiga pelo Método Locati foram executados até atingir 3×10^5 ciclos. Se não ocorrer a fratura nesta etapa, aumenta-se a deflexão em 10% e submete o corpo-de-prova a mais 3×10^5 ciclos e assim por diante até que haja a ruptura. Para início dos ensaios de fadiga pelo Método Staircase adotou-se o valor de deflexão obtido pelo Método Locati anterior ao da fratura.

O Método Staircase é um processo iterativo, no qual cada corpo-de-prova passa, eventualmente, por uma sequência de fases. Na primeira fase, cada corpo-de-prova (i) é submetido a uma carga F_{d_i} por 10^6 ciclos. Se o corpo-de-prova falhar, um novo ensaio será iniciado com uma diminuição da carga de 10%. Se o corpo-de-prova resistir a este número de ciclos, o mesmo corpo-de-prova vai para uma segunda fase incrementando um valor da carga de 10% e submetendo-o novamente a 10^6 ciclos, e assim sucessivamente até a ruptura. O corpo-de-prova seguinte ($i+1$) passa então pela primeira fase, sendo submetido a 10^6 ciclos sob uma carga $F_{d_{i+1}} = F_{d_i} + 10\%$. O número de corpos-de-prova a serem testados é compreendido entre 6 a 10. O número de não rupturas deverá ser o mesmo que o número de rupturas para assegurar uma aproximação suficiente da média baseada em todos os blocos de ensaio. As observações das superfícies de fratura dos corpos-de-prova ensaiados em fadiga foram feitas num microscópio eletrônico por varredura (MEV) JEOL - JSM-6510.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as deflexões relativas a 0,2% de deformação plástica (RP02) e as deflexões iniciais efetivamente utilizadas nos ensaios de fadiga pelo Método Locati, que correspondem a 70% de RP02 obtidas em ensaios de flexão a 120°C da poliamida e dos compósitos de poliamida com reforço de 30, 35 e 50% de fibra de vidro. Diante disto, os ensaios de fadiga pelo Método Locati iniciaram com valores de deflexão de 3,5, 3,5 e 3 mm para os compósitos de poliamida com 30, 35 e 50% de fibra de vidro, respectivamente. Os resultados da determinação das deflexões iniciais, obtidas pelo Método Locati, para execução dos ensaios de fadiga pelo Método Staircase foram 3,85 mm para os compósitos com 30 (PA 6.6 GF30) e 35% (PA 6.6 GF35) de fibra de vidro e 3,3 mm para o compósito com 50% de fibra de vidro (PA 6.6 GF50).

Tabela 1: Valores de deflexão em tensões correspondentes a 0,2% de deformação plástica, utilizados para início dos ensaios de fadiga pelo Método Locati.

Compósito	RP02 [mm]	70% RP02 [mm]
30% de fibra de vidro (PA 6.6 GF30)	5.0	3.5
35% de fibra de vidro (PA 6.6 GF35)	5.0	3.5
50% de fibra de vidro (PA 6.6 GF50)	4.4	3.0

Nos gráficos das Figuras de 1 a 3 são apresentados os resultados dos ensaios de fadiga pelo Método Staircase. A falha ou ruptura significa que o corpo-de-prova fraturou antes de atingir 10^6 ciclos. Neste caso foi indicado com a palavra “falha”. Quando o corpo-de-prova não rompeu até 10^6 ciclos, o ensaio foi interrompido e foi indicada a palavra “sobrevida”. Nos casos dos compósitos PA 6.6 GF30 e PA 6.6 GF35 foi executada a mesma quantidade de ensaios, porém com resultados diferentes de deflexão. Enquanto que no compósito PA 6.6 GF30 foi necessária uma deflexão de 5,12 mm com quatro sobrevidas e três falhas, no compósito PA 6.6 GF35 foi necessária uma deflexão de 4,66 mm, também com quatro sobrevidas e três falhas nos ensaios de fadiga pelo mesmo Método Staircase. Para o compósito PA 6.6 GF50 foram testados seis corpos-de-prova, com três sobrevidas e três falhas, chegando à deflexão máxima pelo Método Staircase de 3,63 mm. Em relação ao compósito PA 6.6 GF30, o compósito PA 6.6 GF50 teve a deflexão máxima 29% menor por conter mais fibra de vidro em sua formulação. O compósito PA 6.6 GF35 apresentou, como esperado, uma menor deflexão em relação ao compósito PA 6.6 GF30.

Na Figura 4 são apresentadas as superfícies de fratura observadas por microscopia eletrônica de varredura dos corpos de prova fraturados em fadiga. Notam-se na região tracionada faces planas da poliamida, características da fratura por fadiga. Na região comprimida a fratura tem aspecto de sobrecarga mecânica. Como pode também ser observado em detalhe na Figura 5, verifica-se a quebra da fibra de vidro e também o descolamento da fibra de vidro da poliamida, ocasionando cavidades oriundas dos esforços cíclicos aplicados. Além disto, foi possível verificar uma boa adesão entre as fibras de vidro e a poliamida. Na Fig. 5B observa-se, em detalhe, uma fibra de vidro rompida na região tracionada, evidenciando linhas de propagação características da fadiga. Estas observações podem conduzir a um

entendimento que a trinca inicia-se e cresce na região tracionada e após se propagar até um tamanho crítico, a fratura da região comprimida deve ocorrer praticamente por sobrecarga mecânica.

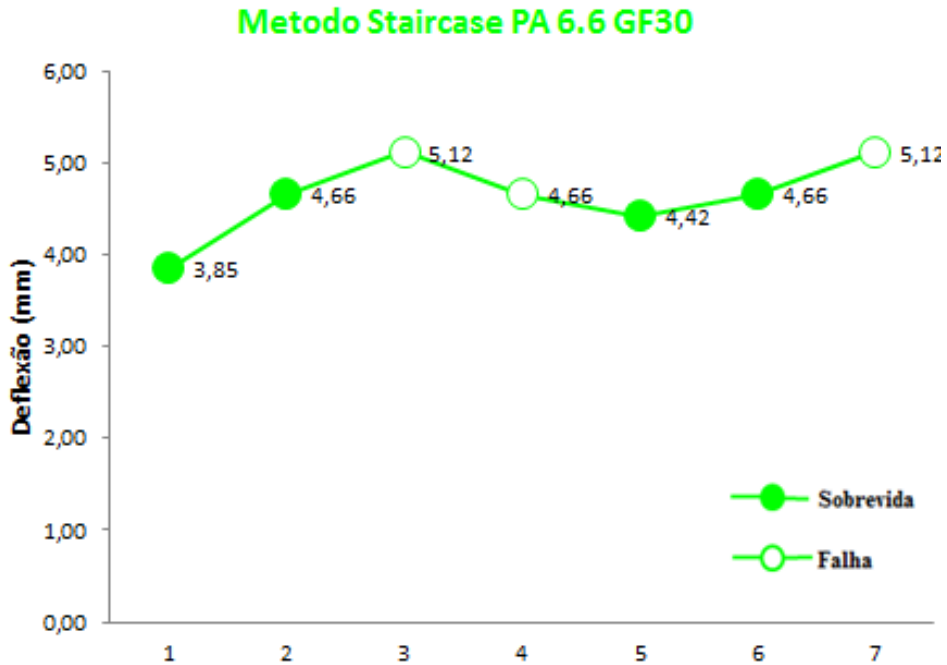


Figura 1: Gráfico mostrando os resultados dos ensaios de fadiga pelo método Staircase do compósito PA 6.6 GF30.

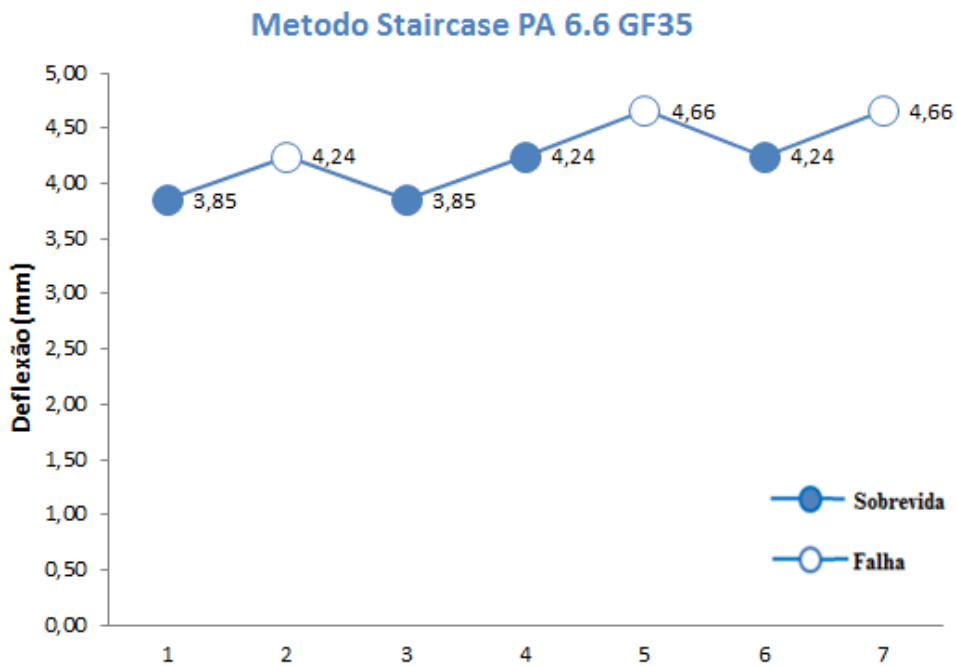


Figura 2: Gráfico mostrando os resultados dos ensaios de fadiga pelo método Staircase do compósito PA 6.6 GF35.

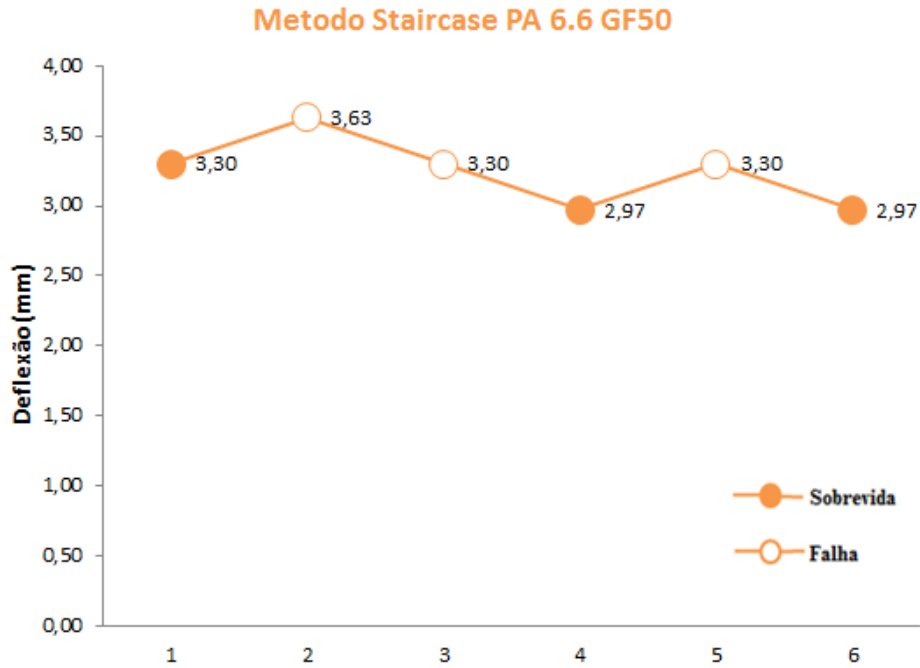


Figura 3: Gráfico mostrando os resultados dos ensaios de fadiga pelo método Staircase do compósito PA 6.6 GF50.

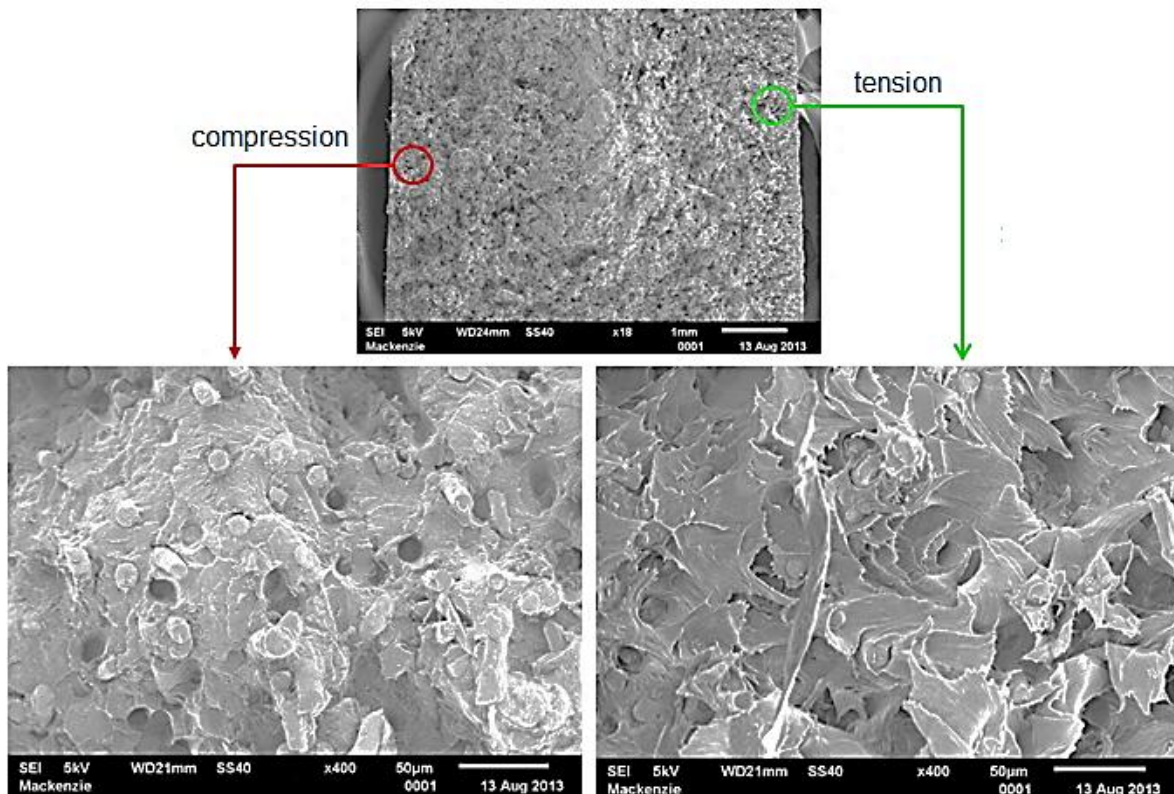


Figura 4: Superfície de fratura observada por microscopia eletrônica por varredura de corpo de prova ensaiado em fadiga. Visão geral da superfície de fratura e detalhes das regiões tracionada e comprimida do corpo de prova.

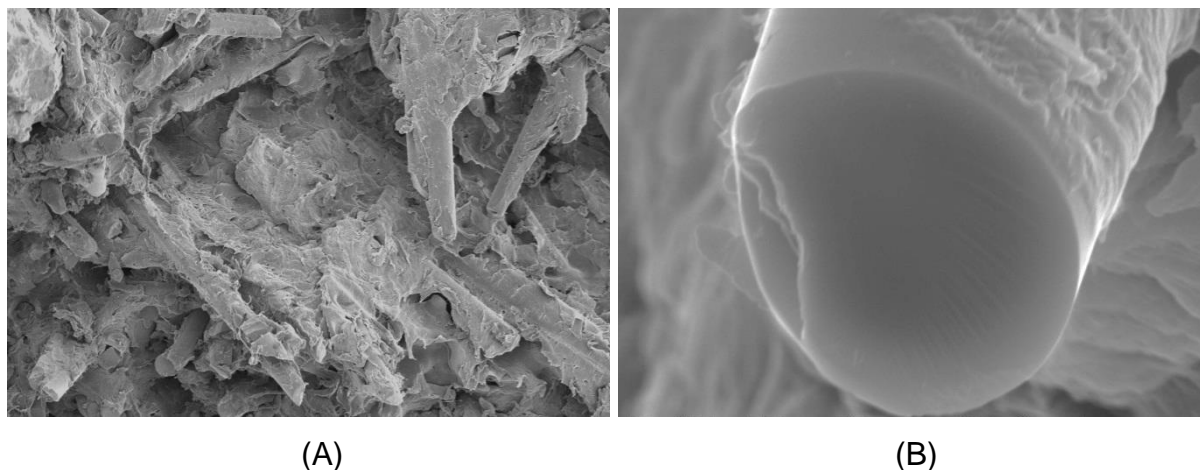


Figura 5: (A) Superfície de fratura observada por microscopia eletrônica por varredura de corpo de prova ensaiado em fadiga. (B) Detalhe de uma fibra de vidro rompida por fadiga observada por microscopia eletrônica por varredura.

CONCLUSÕES

O estudo da utilização do compósito de poliamida com reforço de fibra de vidro no suporte do coxim do motor permitiu concluir que:

- O Método Staircase adotado nesta pesquisa para analisar o comportamento em fadiga do compósito de poliamida com reforço de 30, 35 e 50% de fibra de vidro foi eficaz e permitiu definir os limites de fadiga dos materiais. Por meio dos resultados obtidos nos ensaios de fadiga, deve-se destacar que o compósito de poliamida com 50% de fibra de vidro apresentou a menor deflexão comparada aos compósitos com 30 e 35% de fibra de vidro.
- A região tracionada da superfície de fratura dos corpos-de-prova ensaiados em fadiga apresentam facetas planas da poliamida, características da fratura por fadiga. Na região comprimida, a fratura tem aspecto de sobrecarga mecânica. Na superfície de fratura foi possível observar também a boa adesão entre as fibras de vidro e a poliamida.
- De acordo com a expectativa, o coxim do motor fabricado em compósito de poliamida com fibra de vidro apresentou uma redução de massa de 0,198 kg, equivalente a uma redução de 32% da massa do coxim em alumínio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado pelo Instituto Presbiteriano Mackenzie através do MackPesquisa para participação no 21^o CBECiMat.

STUDY OF THE UTILIZATION OF POLYAMIDE COMPOSITE WITH FIBERGLASS REINFORCEMENT IN AUTOMOTIVE ENGINE MOUNTS

ABSTRACT

The aim of this work is to study the replacement of the support of the engine mounts from aluminum to commercial polyamide composite (PA 6.6) reinforced with 30, 35 and 50% of fiberglass. The purpose of this replacement is to reduce de weight of the component. Flexion and fatigue tests were performed at 120°C utilizing the Staircase Method. The results have shown the excellent adherence of polyamide in fiberglass. The polyamide composite with 50% of fiberglass presented the lowest deflection. However, the polyamide composite presented higher values of deflection. Finally, due the weight reduction of 32%, it was possible confirm that the polyamide composite is viable to change the Al alloys in the automotive engine bearings.

Keywords: composite, polyamide, fiberglass, fatigue