

COMPORTAMENTO SOB FLEXÃO DE COMPÓSITOS DE ESTRUTURA SANDUÍCHE COM NÚCLEOS A BASE DE EPÓXI, CORTIÇA E MICROESFERAS OCAS DE VIDRO

PEREIRA, Bruno Santos^{1M}; BARBOSA, Renata; ALVES², Tatianny Soares²

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Piauí, Teresina 64000-040, Brasil

² Curso de Engenharia de Materiais e Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Teresina 64049-550, Brasil

RESUMO

Neste trabalho foram desenvolvidos compósitos poliméricos a base de pó de cortiça e microesferas ocas de vidro como reforço de núcleo e como parâmetro de desempenho foram utilizadas amostras de resina pura. Para o preparo dos compósitos foi empregada a técnica de sobreposição simples de camadas preparadas individualmente por meio por *hand lay up*. Os resultados indicaram que os módulos de flexão dos compósitos a base de cortiça e os com microesferas ocas de vidro apresentam valores próximos, superiores ao módulo de flexão do sistema epóxi puro, apontando a possibilidade desses compósitos como substitutos de materiais tradicionais.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos, Cortiça, Microesferas, Flexão.

1. INTRODUÇÃO

Os plásticos termorrígidos são uma categoria de plásticos que apresentam alto desempenho, durabilidade e estabilidade sob altas temperaturas, tornando-os adequados para aplicações especiais que vão desde a indústria automotiva e aeroespacial até embalagens, revestimentos de eletrônicos e produtos de consumo. Os recentes desenvolvimentos em processos de fabricação e tecnologia em termorrígidos ampliaram seu uso exponencialmente nos últimos anos.¹ Com a forte demanda, particularmente do mercado de materiais compósitos, automotivos, aeronáuticos/aeroespaciais e indústria eletroeletrônica, o consumo de plásticos termorrígidos mostrou crescimento constante nos últimos anos. Dentre as resinas termorrígidas pode-se destacar a resina epóxi, que teve uma demanda global estimada em aproximadamente US \$ 21,5 bilhões em 2016.²

Entre as várias formas de arranjos possíveis em estruturas de compósitos, tornou-se popular a ideia de construção sanduíche devido ao desenvolvimento de materiais de núcleo celulares artificiais, pois apresentam características diferentes das obtidas em materiais sólidos tradicionais. As estruturas sanduíches consistem em um par de camadas rígidas (faces, revestimentos ou capas), um núcleo resiliente e leve para separar as faces e transferir as cargas de uma camada externa para a outra e, por último, um adesivo entre as camadas que seja capaz de transmitir cisalhamento e cargas axiais entre elas.³

Com o avanço em materiais compósitos, polímeros com cargas de origem natural tem despertado grande interesse entre pesquisadores em parte devido à necessidade do desenvolvimento de materiais sustentáveis, substituindo o petróleo ou subprodutos do vidro que são amplamente usados como reforço nos mesmos.⁽⁴⁾ A utilização de reforço de materiais naturais, como a cortiça chamam atenção devido às suas propriedades térmicas (como estabilidade estrutural das células até temperaturas de 250°C), baixa densidade, baixo custo e o seu caráter sustentável como matéria-prima.⁵

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso de pó de cortiça e microesferas ocas de vidro (MOV) como reforço de núcleo de estruturas sanduíche, em comparativo com o desempenho de amostras de resina pura, por meio da análise do comportamento mecânico sob flexão.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizada como matriz a resina epóxi (EPX), bicomponente, SILAEX SQ 2004 com endurecedor SQ 3154, fornecida pela distribuidora Redelease. Foram utilizadas como carga de núcleo cortiça e microesferas ocas de vidro. A cortiça, na forma de pó, foi fornecida pela Corticeira Paulista LTDA e as microesferas ocas de vidro são provenientes da linha iM16K, fornecidas pela 3M™. Para a confecção dos moldes foi utilizado o silicone SILAEX SQ8328, um líquido bicomponente de cura a frio utilizado para esta finalidade.

2.2 Preparação dos moldes

Para a confecção dos corpos de prova foram fabricados moldes de silicone a partir de amostras de referência com dimensões requeridas pela norma de ensaio de resistência a flexão ASTM D790. Ao longo de uma base de acrílico foram fixadas amostras de referência e sobre as mesmas foi vertido o silicone para a formação dos moldes.

2.3 Formulação e preparação dos compósitos

Os compósitos sanduíche foram confeccionados com um total de três camadas: duas camadas externas e uma camada central, chamada de núcleo. As camadas externas foram preparadas a base da resina epóxi/endurecedor e a do núcleo foi preparada por meio da incorporação das cargas na resina ainda na fase líquida e, antes de incorporadas à resina, as cargas foram secas a 70°C durante 5h em estufa para remoção da umidade. As frações volumétricas de material no núcleo dos corpos de prova são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Frações volumétricas dos materiais constituintes dos núcleos dos compósitos

Núcleo	EPX	Cortiça	MOV
Núcleo carga cortiça	45%	55%	-
Núcleo carga MOV	45%	-	55%

Fonte: Acervo pessoal (2018)

Uma vez que todas as camadas passaram pelo processo de cura total, iniciou-se o processo de montagem das estruturas sanduíche. As camadas foram unidas utilizando-se a mesma resina base como adesivo. A classificação dos sistemas com relação à composição e arranjo dos materiais pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 - Formulação dos compósitos

Sigla	Descrição
EPX	Resina epóxi + endurecedor
CC	Compósito sanduíche com núcleo de cortiça
CMOV	Compósito sanduíche com núcleo de MOV

Fonte: Acervo pessoal (2018)

2.4 Ensaio de flexão

Foi realizado o ensaio de flexão em três pontos para a avaliação do módulo de flexão e força máxima. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D790-17 em uma máquina de ensaios universal da marca EMIC, modelo DL 30000N, pertencente ao Laboratório de Ensaios Mecânicos do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí, sob a uma célula de carga de 50kN a uma taxa de deflexão de 2mm/min.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores de módulo de flexão e força máxima para cada um dos sistemas estudados.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de flexão

Sistemas	Módulo de flexão (MPa)	Força máxima (N)
EPX	512,51 ± 26,22	22,35 ± 2,16
CC	695,32 ± 25,63	31,67 ± 2,84
CMOV	718,72 ± 50,9	28,44 ± 3,73

Fonte: Acervo pessoal (2018)

Foi observado que os compósitos alcançam valores superiores de força para as mesmas deformações com relação ao sistema EPX. Os resultados para os compósitos CC e CMOV apresentam valores próximos, com resultado levemente superior para o sistema CMOV. Esse comportamento pode ser explicado por uma das características das MOVs, que é a alta eficiência sob compressão.⁶ O sistema CC apresenta um aumento nessa propriedade devido à cortiça se deformar e diminuir o espaço intercelular, absorvendo energia. Estudos anteriores afirmam que esses resultados podem ser atribuídos em parte aos enchimentos que possibilitam regiões de concentração de tensão que absorvem as tensões na interface carga-epóxi por meio das descontinuidades da matriz, e também devido às tensões cisalhantes presentes na interface entre as camadas, que reduzem a mobilidade e a consequente capacidade de se deformar nos compósitos sanduíche.⁷

Trabalhos anteriores estudaram o uso de diferentes tipos de blocos de cortiça como núcleos de estrutura sanduíche com faces externas laminadas com basalto e linho impregnadas de epóxi. Foram testados núcleos de cortiça com e sem impregnação da resina epóxi antes do fechamento do painel sanduíche e foi observado que com o aumento da presença da resina no núcleo de cortiça houve um decréscimo na habilidade da cortiça absorver a energia durante a flexão, tornando o compósito mais rígido.⁸ Este último caso se assemelha em parte ao presente trabalho principalmente pela interação das partículas de cortiça com a matriz e não diretamente com outras partículas, aumentando as áreas preenchidas com resina e enrijecendo o compósito.

Observou-se ainda maiores valores para força máxima sob flexão para os compósitos sanduíche com relação ao sistema EPX, aumento este em média de 41% do sistema CC e de 27% do sistema CMOV com relação à resina pura. No caso do sistema CC, estudos prévios afirmaram que sob compressão as células de cortiça tendem a se deformar e absorver a energia, contanto que as mesmas permaneçam íntegras e com ar no seu interior, o que tende a explicar as maiores forças alcançadas neste sistema.⁹

No sistema CMOV supõe-se que haja a fratura de algumas das microesferas na região superior do compósito onde predominam forças compressivas, dissipando a energia sob flexão no mecanismo de fratura das MOVs. Estudos na área de espumas sintáticas afirmam ainda que há a influência do efeito da curvatura da propagação das trincas ao redor das microesferas no estado de compressão, que promove o enrijecimento do material.¹⁰

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados, percebeu-se que mesmo sendo cargas de núcleo diferentes, as cargas de cortiça e microesferas ocas de vidro compartilharam algumas semelhanças (presença de ar em suas células, ar este que não entra em contato com a matriz a não ser que a célula seja rompida), semelhanças que são refletidas em seus resultados sob o ensaio de flexão. Os módulos de flexão encontrados foram praticamente iguais nos dois sistemas de compósitos sanduíches. Com relação às forças máximas sob flexão, observou-se uma pequena vantagem do sistema a base de cortiça com relação ao sistema a base de microesferas, ambos com resultados superiores à resina pura. Esses resultados classificam a cortiça e microesferas ocas de vidro como potenciais substitutos a materiais tradicionais, onde houver a necessidade de solicitação mecânica desta natureza em compósitos sanduíche.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí – PPGEM (IFPI), ao Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados – LIMAV (UFPI) e ao Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados – LAPCON (UFPI), pelo espaço e equipamentos necessários para a realização do trabalho. À CAPES, pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

1. S.H. Goodman; D. Hanna. Handbook of thermoset plastics. William Andrew. 2014
2. Global Epoxy Resin Market. 2017. Acmite Market Intelligence
3. A. Petras. Design of sandwich structures. University of Cambridge. 1999.
4. J. Yeo; O.Y. Kim; S. Hwang. 2016. J. Ind. Eng. Chem., p. 24
5. E.M. Fernandes, V.M. Correlo, J.A.M. Chagas, J.F. Mano, R.L. Reis. 2011. Compos. Struct.
6. S.N. Patankar; Y.A. Kranov. 2010. Mater. Sci. Eng. A.
7. K. Schulte; F.H. Gojny; B. Fiedler, J.K.W. Sandler, Bauhofer W, et al. 2005. *Polymer Composites from Nano- to Macro-Scale*. New York, NY.
8. R. Hoto; G. Furundarena; J.P. Torres; E. Muñoz; J. Andrés; J.A. García. 2014. Materials Letters.
9. A.Q. Barbosa; L.F.M. da Silva; A. Öchsner; J. Abenojar; J.C. del Real. 2012. The Journal of Adhesion.
10. E.M. Wouterson; F.Y.C. Boey; X. Hu; S.C. Wong. 2005. Compos. Sci. Technol.