

AValiação DO COMPORTAMENTO TERMOMEcÂNICO DO COMPÓSITO EPOXÍDICO REFORÇADO COM TECIDO DE FIQUE*

Michelle Souza Oliveira¹

Fabio da Costa Garcia Filho²

Fernanda Santos da Luz³

Artur Camposo Pereira⁴

Luana Cristyne da Cruz Demosthenes⁵

Lucio Fabio Cassiano Nascimento⁶

Sergio Neves Monteiro⁷

Resumo

A análise termomecânica (ATM) é uma das ferramentas mais básicas da ciência de materiais, especialmente no campo da análise térmica. A base do ATM é a alteração nas dimensões de uma amostra em função da temperatura. As medições de ATM registram alterações causadas por alterações no volume livre do polímero. A caracterização de ATM pode fornecer informações valiosas sobre a estrutura, composição e possibilidades de aplicação de vários materiais. O Fique (*Furcraea andina*) é uma planta que está chamando a atenção devida a sua elevada produção, cerca de 30 mil ton/ano. Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar o compósito epoxídico reforçado com tecido de fique e seu desempenho térmico. As variações totais foram pequenas nos compósitos, em especial para E-40%TF.

Palavras-chave: Tecido de fique; análise termomecânica; compósito com fibra natural.

EVALUATION OF THE THERMOMECHANICAL BEHAVIOR OF EPOXY COMPOSITE REINFORCED WITH FIQUE FABRIC

Abstract

A thermomechanical analysis (TMA) is one of the tools with the greatest scientific impact, especially in the field of thermal analysis. The basis of the TMA is a reference block of an image in a function of temperature. TMA measurements are not caused by changes in the free volume of the polymer. The characterization of TMA can generate information about the structure, appearance and possibilities of applying various materials. O Fique (*Furcraea andina*) is a plant that is drawing attention due to its production, about 30 thousand tons / year. With this, the objective of this work was to analyze the epoxy compendium reinforced with stay fabric and its thermal performance. The waves were large in the composites, especially for E-40%FF.

Keywords: Fique fabric; Thermomechanical analysis; Composites reinforced with natural fiber.

¹ Engenheira Civil, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutorando em Ciência dos Materiais, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Engenheira de Materiais, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutora em Ciência dos Materiais, Pós-doutoranda em Ciência dos Materiais, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴ Engenheira Civil, Mestre em Ciência dos Materiais, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵ Engenheiro Metalúrgico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutor em Ciência dos Materiais, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁶ Engenheiro Metalúrgico, Mestre em Ciência dos Materiais, PhD em Ciência dos Materiais, Departamento de Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais testemunhou uma notável conquista na tecnologia de ciência de materiais com a crescente demanda no desenvolvimento de produtos de alta engenharia a partir de recursos naturais. Prevê-se que o mercado global de compósitos de fibra natural cresça a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 8,2% de 2015 a 2020 [1]. Uma das matrizes termoendurecíveis mais utilizadas atualmente é a resina epóxi que possui pelo menos um ou mais grupos epóxido na molécula [2]. Compósitos de matriz epóxi são amplamente utilizados em aplicações como estruturas aeroespaciais, eletrônica, revestimentos e adesivos. A vantagem distinta da resina epóxi comparada a outras resinas termofixas como encolhimento mínimo durante a cura, resistência ao calor, resistência mecânica e à fadiga relativamente alta, excelente resistência química, boa adesão com muitos substratos a tornou uma das matrizes mais importantes usadas em fibra de reforço em polímeros [2-4].

Apesar de todas essas vantagens, a matriz epóxi é altamente quebradiça e isso pode ser superado pelo reforço das fibras naturais. As fibras naturais podem ser incorporadas em um compósito polimérico em diferentes formas, tais como contínuo, orientado aleatoriamente e como tecido ou não tecido. A forma em tecido é considerada um reforço mais atraente, uma vez que fornece excelente integridade e conformabilidade para aplicações estruturais avançadas [5]. Pesquisadores relatam que os compostos de tecido mostram um desempenho excelente em propriedades de tração, flexão e impacto, em comparação com os compostos unidirecionais e orientados aleatoriamente [6]. A maioria dos materiais sólidos expande com o aquecimento e contrai quando resfriada. A tendência de um material em mudar de forma, área e volume quando submetido à variação de temperatura está se referindo à sua propriedade de expansão térmica. Quando essas mudanças são medidas sem uma carga aplicada, a técnica é chamada de termodinometria [8-16].

Do ponto de vista da engenharia, os coeficientes de expansão térmica dos materiais são muito importantes em relação à estabilidade dimensional e à compatibilidade mecânica quando usados com outros materiais. Maia e colaboradores [7] submeteram corpos cerâmicos de La_2O_3 a análises termomecânicas com o objetivo de determinar a porcentagem de retração volumétrica em função da concentração do dopante e temperatura de aquecimento. Os autores observaram que ao aumentar a concentração de óxido de lantânio ocorre a redução da temperatura do processo de multização, mas o uso de concentrações muito elevadas, a ATM indica que é possível a ocorrência de formação de várias fases cristalinas residuais (como fase líquida devido à presença de silicatos de lantânio), que podem prejudicar as propriedades termomecânicas do material.

Chee e colaboradores [1] estudaram a estabilidade dimensional e propriedades mecânicas dinâmicas em compósitos híbridos de bambu/kenaf. O efeito de hibridização das fibras de bambu (B) e kenaf (K) em diferentes proporções de peso foi estudado em B:K:70:30 e B:K:30:70, mantendo a carga total de fibra de 40% em peso. Os autores observaram que a estabilidade dimensional foi fortemente influenciada pela orientação das fibras, onde todos os compósitos apresentam expansão proeminente na direção das fibras transversais, mas expansão relativamente baixa na direção das fibras longitudinais. Efeitos de hibridização positivos foram observados em compósitos híbridos B:K:50:50 com menor teor de CET. Saba e colaboradores [2] investigaram a estabilidade bidimensional de um compósito híbrido kenaf/epóxi com a incorporação de nanopartículas. Resultados

positivos foram observados em todos os nanocompósitos híbridos com menor CET, comparados ao composto kenaf/epóxi.

Fique é uma das culturas mais importantes da colômbia e mostrou uma baixa condutividade térmica, o que torna o potencial substituto para os materiais de isolamento comuns. No entanto, existem poucos trabalhos sobre suas propriedades térmicas. Sánchez e colaboradores [17] estudaram o comportamento térmico da fibra de fique no estado natural (sem tratamento), lavado com surfactante e imerso em surfactante por 24h a partir das técnicas de termogravimetria (TGA), calorimetria diferencial de varredura (DSC). Os autores concluíram que o fique pode ser utilizado como isolante térmico de habitações sem sofrer problemas de degradação térmica, bem como a fibra após a lavagem com surfactante perdeu resistência à degradação, devido a remoção da lignina.

A partir da revisão de literatura, mostra-se que não há nenhum estudo sobre propriedades termomecânicas em compósitos de epóxi reforçados com tecido de fique. Neste estudo, o tecido de fique foi utilizado para reforçar a matriz epóxi, e preparado por método de compressão para desenvolver uma composição de alto desempenho e custo efetivo para aplicação em automóveis, construção civil e balística onde estabilidade dimensional com variação de a temperatura é de grande preocupação. A Fig. 1 apresenta um esquema representativo da curva de ATM na expansão.

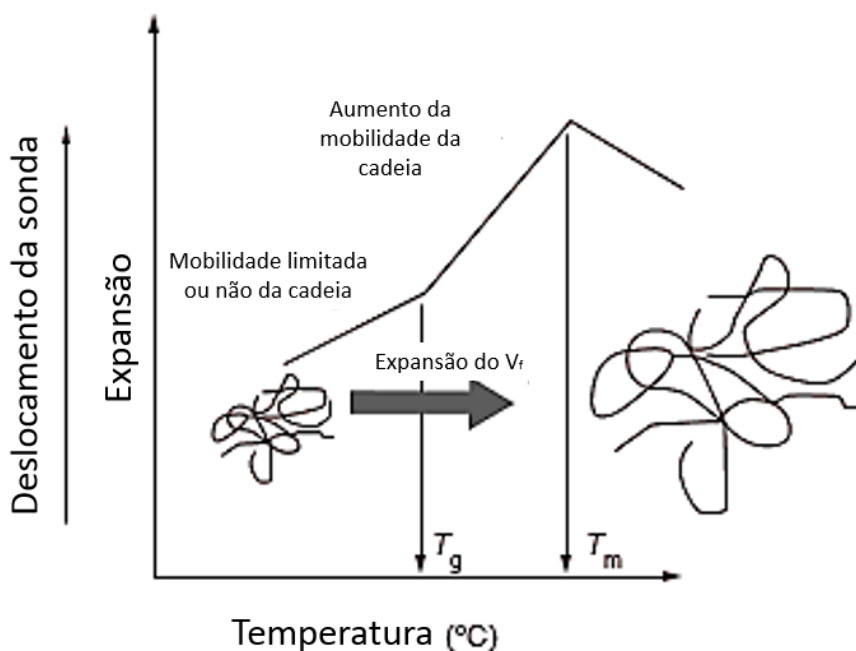


Figura 1. Esquema representativo da curva de ATM na expansão - modo experimental [10]

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise termomecânica (ATM) é uma técnica de análise térmica, baseada na medição das mudanças dimensionais em um corpo de prova em função da temperatura ou do tempo sob carga à pressão atmosférica. Se as medições forem realizadas sob carga insignificante, a técnica também é chamada de termodilatometria (*Dilatometer for Thermal Expansion - DT*) [10]. O ATM é uma técnica para medição precisa de posição, que consiste em uma plataforma de amostra, forno, dissipador de calor, dispositivo de medição de temperatura (termopar) ao redor das amostras e um transformador de posição sensível (Fig. 2). As medidas dos coeficientes de expansão térmica foram realizados no analisador

termomecânico da marca Shimadzu, modelo TMA-60, pertencente ao Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).

As amostras foram cortadas conforme a norma ASTM E831 e colocadas em suporte de quartzo. Foi aplicada uma atmosfera de nitrogênio, com um intervalo de temperatura de 10°C até 180°C. Para tais ensaios foi utilizada uma carga fixa de compressão de 10gf.

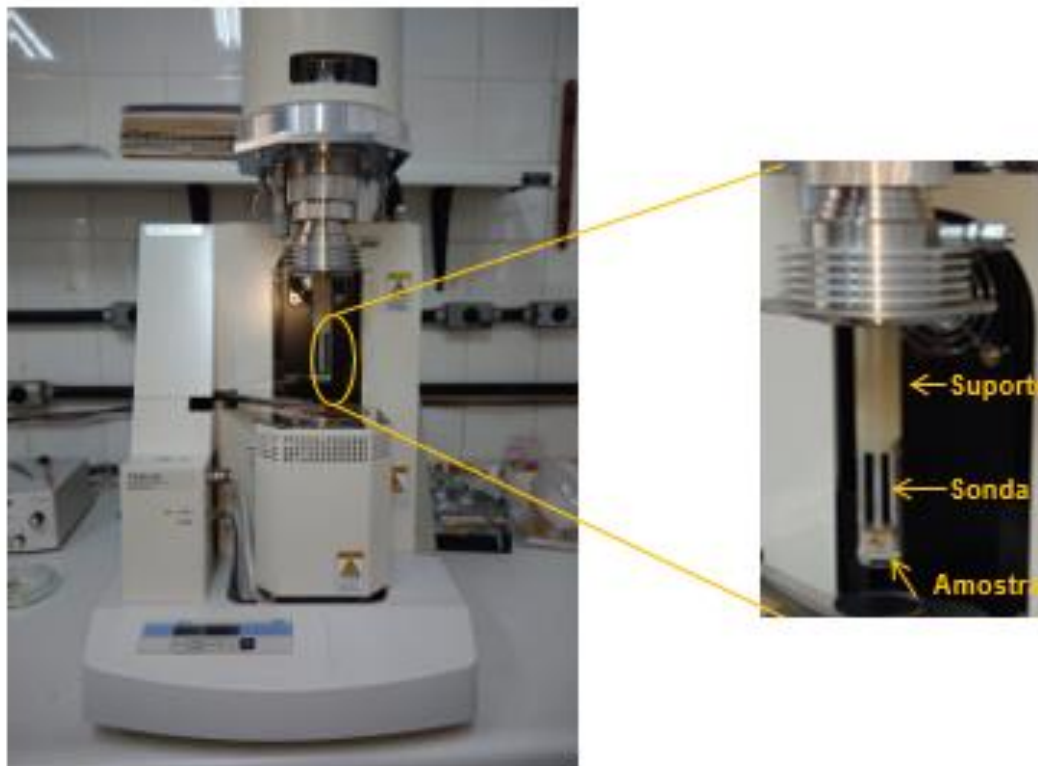


Figura 2. Equipamento Shimadzu modelo TMA-60

A técnica termomecânica foi utilizada neste trabalho com o intuito de medir a temperatura de transição vítrea e o coeficiente de expansão térmica linear do compósito de epóxi/tecido de fique.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab. 1 apresenta os compósitos e as nomenclaturas que representam as condições consideradas neste estudo.

Tabela 1. Nomenclatura das condições consideradas neste estudo

Material	Código
Compósito epoxídico reforçado com 15% em peso de tecido de fique	E-15%TF
Compósito epoxídico reforçado com 30% em peso de tecido de fique	E-30%TF
Compósito epoxídico reforçado com 40% em peso de tecido de fique	E-40%TF
Compósito epoxídico reforçado com 50% em peso de tecido de fique	E-50%TF

A Fig. 3 apresenta as curvas de ATM obtidas para o compósito de matriz epóxi reforçado com tecido de fique.

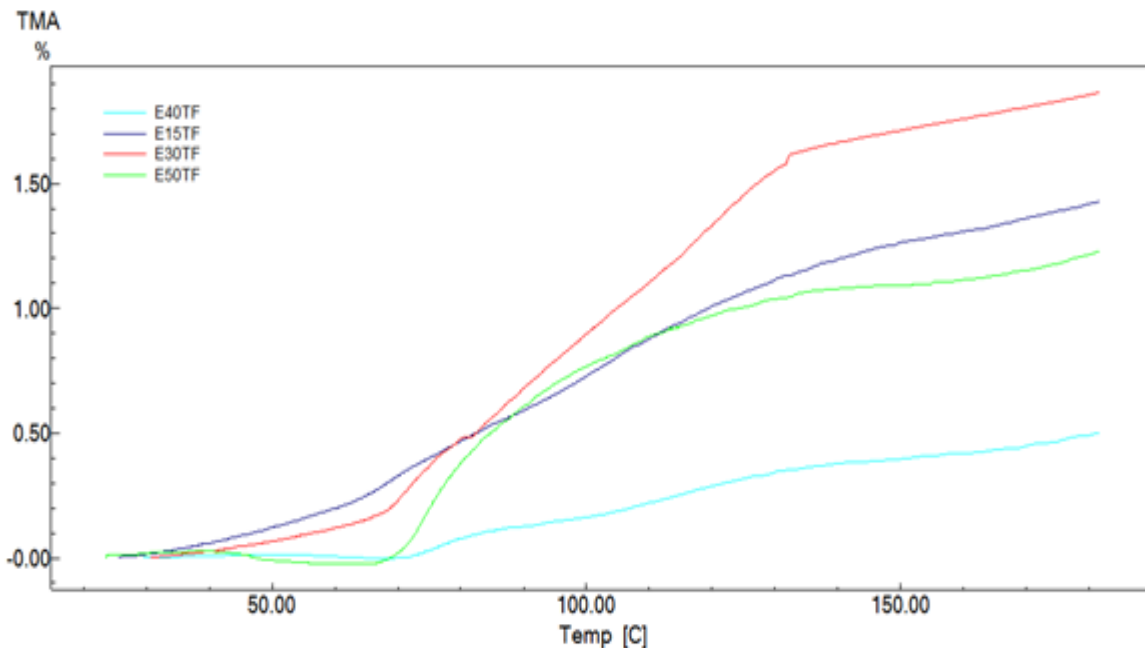


Figura 3. Comparação das curvas de ATM para os compósitos de matriz epóxi reforçado com tecido de fique

As temperaturas de transição vítrea (T_g) obtidas por ATM foram na ordem de aproximadamente 131°C para E-15%TF; 133°C para E-30%TF; 139°C para E-40%TF; 134°C para E-50%TF. É válido mencionar que possíveis problemas na determinação da T_g por ATM podem ocorrer devido a limitação de transferência de calor. Assim, tudo que afete a mobilidade molecular, como por exemplo, composição química, oxidação, adição de cargas ou material de menor massa molecular, indução de cristalização por estiramento, entre outros, tem efeito sobre a região de transição vítrea do polímero, e conseqüentemente sobre o seu comportamento térmico e mecânico [9].

Com o aumento da temperatura observa-se uma pequena dilatação do material. Todas as curvas de expansão térmica ficaram dispersas, contudo as variações totais foram pequenas, especialmente para E-40%TF, ou seja, muito próxima do limite de detecção do equipamento, por isso diminuiu a precisão da leitura, e o coeficiente de expansão térmica linear obtido através da equação da reta foi de $1070.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-15%TF; $1670.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-30%TF; $390.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-40%TF; $1080.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-50%TF.

Esses valores se diferenciam do encontrado na literatura, visto que o coeficiente de expansão para o epóxi varia de 15 a $100.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Nunes [18] realizou o ensaio de ATM para o compósito epóxi/fibra de carbono e chegou a um coeficiente de $2450.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, muito maior que o valor encontrado para o compósito epóxi/tecido de fique.

5 CONCLUSÃO

- A ATM determina mudanças dimensionais em sólidos, líquidos ou materiais pastosos em função da temperatura e/ou do tempo sob uma força mecânica

definida. A gama de instrumentos de aplicação para a ATM estende-se do controle de qualidade à pesquisa e desenvolvimento.

- Todas as curvas de expansão térmica ficaram dispersas, e as variações totais foram pequenas, especialmente para E-40%TF. O coeficiente de expansão térmica linear obtido através da equação da reta foi de $1070.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-15%TF; $1670.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-30%TF; $390.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-40%TF; $1080.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ para E-50%TF.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio das agências de financiamento CAPES, CNPQ e FAPERJ, bem como ao Instituto de Pesquisa da Marinha (IPqM), nas pessoas de Arnaldo e Cida.

REFERÊNCIAS

- 1 Chee SS, Jawaid M, Sultan MTH, Alothman O, Abdullah LC. Thermomechanical and dynamic mechanical properties of bamboo/woven kenaf mat reinforced epoxy hybrid composites. *Composites Part B*. 2018.
- 2 Saba N, Jawaid M, Alothman OY, Paridah M, Hassan A. Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *J Reinf Plast Compos*. 2016;35:447-470
- 3 Alamri H, Low IM, Alothman Z. Mechanical, thermal and microstructural characteristics of cellulose fibre reinforced epoxy/organoclay nanocomposites. *Composites Part B Eng*. 2012;43:2762-2771.
- 4 Khalil HPSA, Fizree HM, Bhat AH, Jawaid M, Abdullah CK. Development and characterization of epoxy nanocomposites based on nano-structured oil palm ash. *Composites Part B Eng*. 2013;53:324-333.
- 5 Singh TJ, Rajini N, Karthikeyan S, Thiruchitrabalam M, Venkateshwareen N. Mechanical properties of banana/kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites: effect of woven fabric and random orientation. *Matr Des Part A*. 2015; 66:246-257.
- 6 Khan GMA, Terano M, Gafur MA, Alam MS. Studies on the mechanical properties of woven jute fabric reinforced poly(1-lactic acid) composites. *J King Saud Univ - Eng Sci*. 2016; 28:69-74.
- 7 Maia LJ, Bozano DF. Comportamento da densificação, sinterização e propriedades termomecânicas da cerâmica mulita dopada com diferentes concentrações de La_2O_3 . *Anais do 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. 2000:26601-26611
- 8 Hsiao KT. Embedded single carbon fibre to sense the thermomechanical behavior of an epoxy during the cure process. *Composites: Part A*. 2013;46:117-121.
- 9 Trentini RS, Vidal DM. Influência da estrutura polimérica nos parâmetros de comportamento de campo dos geossintéticos
- 10 Kodal M, Karakaya N, Wis AA, Ozkoc G. Thermal properties (DSC, TMA, TGA, DTA) of rubber nanocomposites containing carbon nanofillers. *Carbon-based nanofiller and their rubber nanocomposites*. 2019: 325-366.
- 11 James J. Thermomechanical analysis and its applications. *Thermal and rheological measurement techniques for nanomaterials characterization*. 2017
- 12 Kubo S, Uraki Y, Sano Y. Thermomechanical analysis of isolated lignins. *Holzforschung*. 1996;50(2):144-150.
- 13 Moustaqim ME, Kaihal AE, Marouani ME, Yakhaf, Taibi M, Sebbahi S, Hajjaji SE, Sahban FK. Thermal and thermomechanical analyses of lignin. *Sustainable chemistry and pharmacy*. 2018;9:63-68.

- 14 Saba N, Paridah MT, Abdan K, Ibrahim NA. Physical, structural and thermomechanical properties of oil palm nano filler/kenaf/epoxy hybrid nanocomposites. *Materials Chemistry and Physics*. 2016.
- 15 Saba N, Jawaid M. A review on thermomechanical properties of polymers and fibers reinforced polymer composites. *Journal of industrial and engineering chemistry*. 2018.
- 16 Zhou J, Yao Z, Chen Y, Wei D, Wu Y. Thermomechanical analyses of phenolic foam reinforced with glass fiber mat. *Materials and design*. 2013;51:131-135.
- 17 Sánchez GFG, Lopez REG, Osorio AMR, Arroyo EH. Figue as thermal insulation morphologic and thermal characterization of fique fibers. *Cogent Engineering*. 2019;6(1):1-11.
- 18 Nunes LM. Cinética de degradação do sistema resina epóxi/fibra de carbono. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Trabalho de Conclusão de Curso. 2013. 62p.