

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE COMPÓSITOS LAMINADOS EPOXÍDICOS REFORÇADOS COM TECIDO DE RAMI SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE CURA*

Janine Feitosa de Deus¹
Rubén Jesus Sanchez Rodriguez²
Sérgio Neves Monteiro³

Resumo

Nas últimas décadas, as fibras naturais têm sido investigadas como uma alternativa para a utilização de fibras sintéticas, como material de reforço, tais como fibras de vidro. Algumas vantagens das fibras naturais são a menor densidade, biodegradabilidade e o fato de virem de fontes renováveis. Com o intuito de melhorar ainda mais as propriedades de compósitos de fibras naturais, investiga-se o desempenho de compósitos reforçados com tecidos de fibras naturais, uma vez que estes proporcionam um reforço multidirecional e permite a introdução de uma maior fração de volume de tecido. Um problema comum nos materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais é a fraca ligação interfacial devido a natureza hidrofóbica da matriz polimérica e hidrofílica das fibras lignocelulósicas. Pensando em melhorar a adesão interfacial, foi utilizada metodologia de fabricação utilizando o vácuo. No presente trabalho, foi investigado o comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi DGEBA-TETA reforçados com tecido de rami, através de testes de tração, fabricados utilizando a metodologia de laminação manual, em molde metálico sob condições de vácuo. Foi avaliada também a influência do tratamento de pós-cura nas propriedades de tração dos materiais investigados, e confirmada através da análise dinâmico mecânica (DMA). A superfície de fratura dos corpos de prova foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura, MEV.

Palavras-chave: Compósitos; Tecido de Rami; Fibras Naturais Lignocelulósicas; Epóxi; Cura.

TENSILE BEHAVIOR OF EPOXIDIC LAMINATED COMPOSITES REINFORCED WITH RAMIE FABRIC UNDER DIFFERENT CURING CONDITIONS

Abstract

In recent decades, natural fibers have been investigated as an alternative to the use of synthetic fibers as reinforcing material such as glass fibers. Some advantages of natural fibers are the lower density, biodegradability and the fact that they come from renewable sources. In order to further improve the properties of natural fiber composites, the performance of natural fiber reinforced composites is investigated as they provide multidirectional reinforcement and allow the introduction of a larger fraction of fabric volume. A common problem in natural fiber reinforced polymer composite materials is poor interfacial bonding due to the hydrophobic nature of the polymeric and hydrophilic matrix of lignocellulosic fibers. Thinking about improving interfacial adhesion, a manufacturing methodology using vacuum was used. In the present work, the mechanical behavior of ramie fabric reinforced DGEBA-TETA epoxy matrix composites was investigated through tensile tests, manufactured using the manual lamination methodology, under vacuum mold. The influence of post-cure treatment on the tensile properties of the investigated materials was also evaluated, and confirmed by dynamic mechanical analysis (DMA). The fracture surface of the specimens was characterized by scanning electron microscopy, SEM.

Keywords: Composites; Rami fabric; Natural Lignocellulosic Fibers; Epoxy; Curing.

¹ *Doutorando, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

² *PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.*

³ *PhD, Professor Titular, Instituto Militar de Engenharia – IME.*

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse em reduzir o impacto ambiental dos materiais e o baixo custo em compósitos poliméricos está levando ao desenvolvimento de novos materiais e compósitos [1], [2]. As fibras vegetais naturais [3], como linho, juta, henequen, sisal, abacaxi e rami, ganharam muitas atenções como reforço para o compósito, devido ao seu baixo custo, baixa densidade, alta resistência e módulo específicos, além de fácil reciclagem, boas propriedades de isolamento térmico e acústico [4], [5], [6]. Embora as excelentes propriedades do compósito de polímero reforçado com fibra natural tenham sido demonstradas, a aplicação em larga escala do compósito de fibra natural ainda é um trabalho árduo. Comparado com os compósitos poliméricos tradicionais, como o compósito de fibra de vidro, as propriedades mecânicas mais baixas e a processabilidade limitada do compósito de fibra natural são duas desvantagens principais para limitar seu uso [7], [8].

Portanto, o foco atual no compósito de fibra natural é melhorar as propriedades mecânicas e desenvolver a tecnologia de fabricação. No presente trabalho, foi investigado o comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi DGEBA-TETA reforçados com tecido de rami, através de testes de tração, fabricados utilizando a metodologia de laminação manual, em molde sob condições de vácuo.

Foi avaliada também a influência do tratamento de pós-cura nas propriedades de tração dos materiais investigados, e confirmada através da análise dinâmico mecânica (DMA). A superfície de fratura dos corpos de prova foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura, MEV.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A resina utilizada foi a epóxi (Dow Chemical), comercializada pela empresa Resinpoxy, localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Esta resina é do tipo éter diglicidílico do bisfenol A (DGEBA), endurecida com trietileno tetramina (TETA). O endurecedor foi adicionado à resina na proporção de 13% em peso.

O tecido de rami utilizado neste trabalho foi importado da china pelo IME (através do professor Sérgio Neves Monteiro) do fornecedor *Rose Natural Healthy Items Wholesale*, a qual comprou o tecido de rami de um fabricante localizado na cidade chinesa de Guangzhou (figura 1). A superfície de fratura foi avaliada utilizando o microscópio eletrônico de varredura Shimadzu SSX - 550 disponível no LAMAV – UENF.



Figura 1: Tecido de Rami.

Figura 2: Molde metálico.

Figura 3: Kit de laminação a vácuo.

Figura 4: Placa compósita.

Os compósitos laminados foram fabricados pelo método de laminação manual (hand lay up), alternando-se as camadas de resina epóxi (já misturada com o endurecedor) e tecido de rami, aplicada com um pincel em sentidos de vai e vem ao longo de todo tecido. Foi aplicada vaselina no molde metálico (figura 2) e em

seguida as camadas de tecido e resina foram empilhadas até se atingir a espessura desejada (de acordo com a norma, 2,5mm, 5 camadas de tecido). Foram aplicados sobre a placa compósita laminada um tecido absorvente “peel ply”, um filme perfurado, um manta absorvente e por último um plástico transparente colado com uma fita adesiva tacky tape ao redor de todo o molde para formar a bolsa de vácuo, conforme indicação do fornecedor (figura 3). A placa compósita (figura 4) foi cortada em corpos de prova com dimensões segundo a norma ASTM ND3039, com 25 mm de largura, 250 mm de comprimento e 2,5 mm de espessura (figura 5).

Foram realizados ensaios de tração, na resina epóxi e nos compósitos laminados, numa máquina universal de ensaios, marca Instron, modelo 5582, com capacidade de 100 KN, disponível no LAMAV/UENF (figura 6). As garras pneumáticas, aprisionaram os corpos de prova com uma pressão igual a 0,3 MPa. Os ensaios foram realizados sob a velocidade de 1,5 mm./min.



Figura 5: Corpos de prova.



Figura 6: Máquina universal de ensaios Instron.

Foram testadas 6 amostras para a resina epóxi e 6 para o laminado nas condições: sem pós-cura e com pós-cura (a 60°C por 24h). A tensão máxima de ruptura e o módulo de tração foram obtidos pelas eqs. 1 e 2, abaixo.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F_{\text{máx}}}{A_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

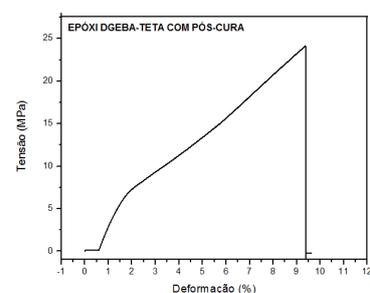
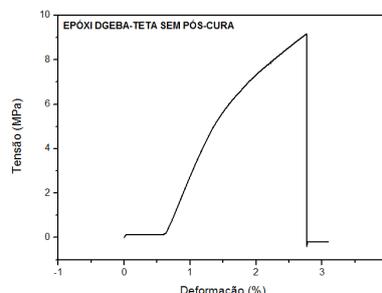
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Eq. 2})$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 7 mostra os corpos de prova da matriz epóxi fraturado e a figura 8, as curvas tensão vs. deformação nas condições sem pós-cura e com pós-cura.



Figura 7: Corpos de prova após tração.

Figura 8: $\sigma_{\text{máx}}$ epóxi sem pós-cura b) $\sigma_{\text{máx}}$ epóxi com pós-cura

Ambas curvas são características de materiais frágeis. Observa-se que na condição com pós-cura a resina ficou mais entrecruzada, logo resistiu mais até se fraturar. A σ_{\max} de ruptura da epóxi com pós-cura foi 160% maior (24,15 MPa) que a resina sem pós-cura (9,14 MPa).

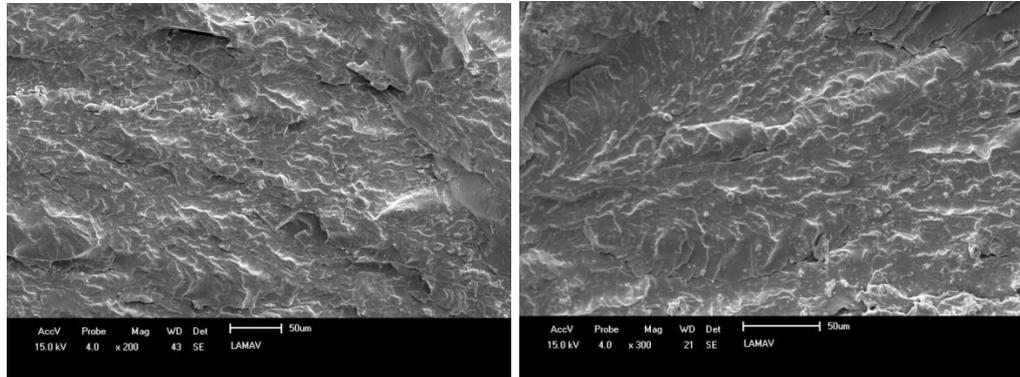


Figura 9: Mev da região de fratura da matriz epóxi sem pós-cura, a) 200x e b) 300x de aumento.

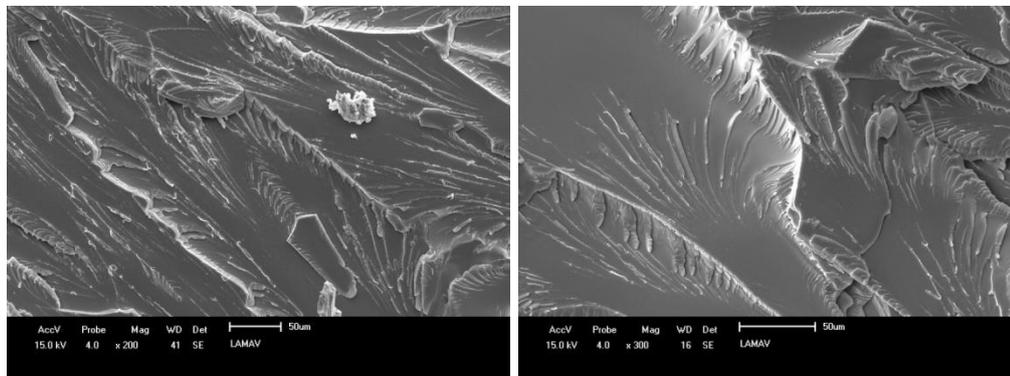


Figura 10: Mev da região de fratura da matriz epóxi com pós-cura, a) 200x e b) 300x de aumento

Nas micrografias apresentadas nas figuras 9 e 10, observamos aspectos da fratura diferentes. Na condição sem pós-cura, o aspecto da fratura é mais arredondado, com menos “marcas de rio”. Na condição com pós-cura, o aspecto da fratura apresenta muitas “marcas de rios”, característica de uma matriz rígida e um material frágil.

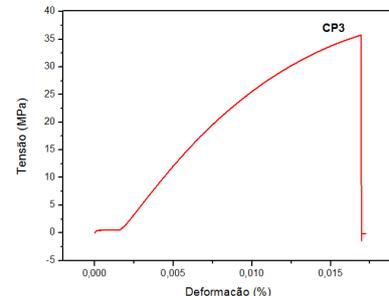
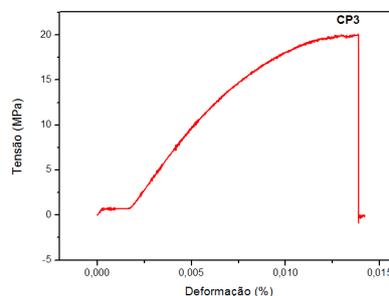
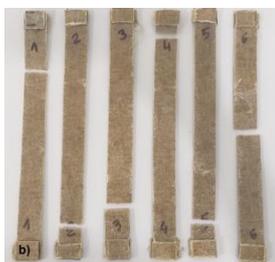


Figura 11: Corpos de prova após tração. Figura 12: a) – σ_{\max} epóxi sem pós-cura b) σ_{\max} epóxi com pós-cura.

A figura 11 mostra os corpos de prova da matriz epóxi fraturado e a figura 12, as curvas tensão vs. deformação de corpos de prova representativos do laminado nas condições sem pós-cura e com pós-cura. Ambas curvas são características de materiais frágeis. Observa-se que na condição c pós-cura o compósito laminado

resistiu mais a deformação até se fraturar. A $\sigma_{\text{máx}}$ de ruptura do laminado com pós-cura foi 70% maior ($34,0 \pm 1,46$ MPa) que o laminado sem pós-cura ($20,12 \pm 0,53$ MPa), o mesmo aumento ocorreu com o módulo em tração.

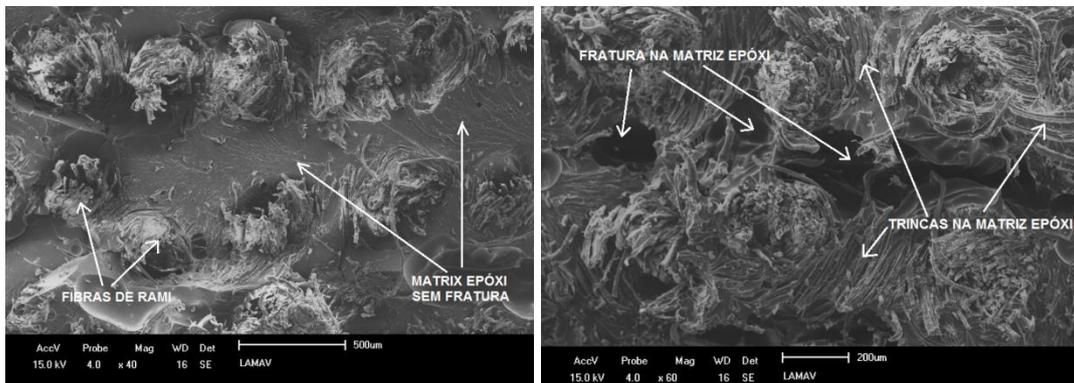


Figura 13 e 14: Mev da região de fratura do laminado sem pós-cura e com pós-cura.

Nas micrografias dos laminados sem pós-cura (figura 13) observam-se menos trincas na matriz e as fibras de rami atuando como barreira na propagação das trincas. Nos com pós-cura (figura 14) observamos muito mais trincas na superfície da matriz, denominadas “marcas de rio”, além de regiões fraturadas na matriz. A análise térmica dinâmico mecânica, DMA, revelou que o tratamento de pós-cura influenciou o comportamento tanto da matriz epóxi quanto do laminado, deixando o material mais entrecruzado e deslocando a temperatura de transição vítrea do material para valores mais elevados (figuras 15 e 16).

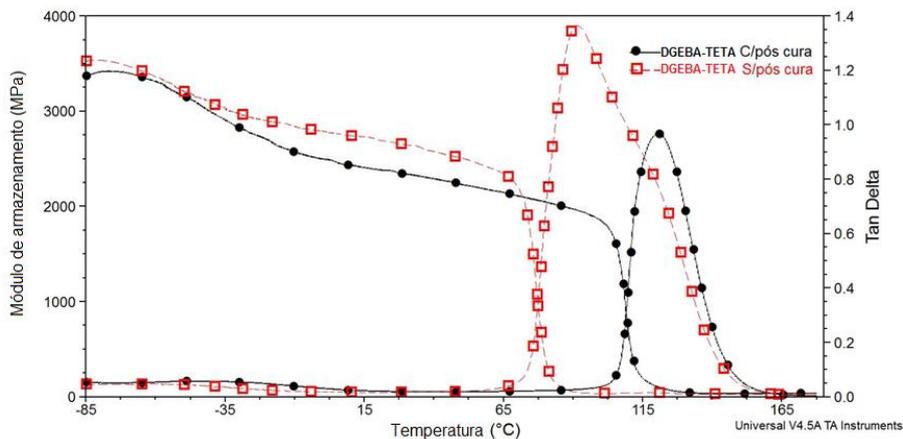


Figura 15: DMA da epóxi DGEBA-TETA sem e com pós-cura.

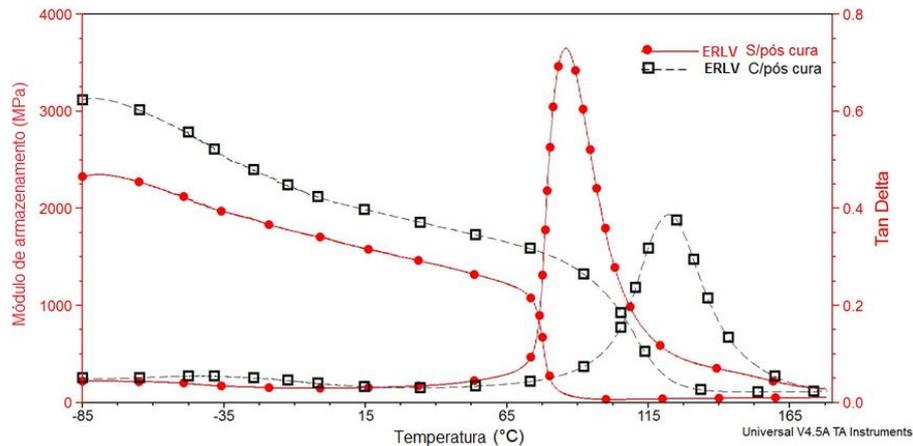


Figura 16: DMA do laminado sem e com pós-cura.

4 CONCLUSÃO

O tratamento de pós cura a 60°C por 24h, aumentou o entrecruzamento das cadeias poliméricas aumentando as propriedades mecânicas em tração, tanto na matriz epóxi, quanto no compósito laminado, como pode ser observado no gráfico tensão vs. deformação, nas imagens de MEV e confirmado com o ensaio de DMA.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro e de bolsas concedidos pelo CNPq, CAPES e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- 1 - NG Jústiz-Smith , GJ Virgo , VE Buchanan. Potencial de banana jamaicana, fibra de coco e fibras de bagaço como materiais compósitos. Mater Charact , 59 (9) (2008) , pp. 1273 – 1278.
- 2 - A. Shalwan , BF Yousif. Em estado da arte: Comportamento mecânico e tribológico de compósitos poliméricos baseados em fibras naturais. Mater Des , 48 (2012) , pp. 14 - 24
- 3 - ND Saheb , JP Jog. Compósitos de polímeros de fibras naturais: uma revisão. Adv Polym Technol , 18 (4) (1999) , pp. 351 – 363.
- 4 - AK Bledzki , AA Mamun , O. Faruk. Abaca compósitos de PP reforçados com fibra e comparação com compósitos de juta e linho PP. Express Polym Lett , 1 (11) (2007) , pp. 755 – 762.
- 5 - D. Nabi saheb , JP Jog. Compósitos de polímeros de fibras naturais: uma revisão. Adv Polym Tech , 18 (4) (1999) , pp. 351 - 363
- 6 - R. Rowell , AR Sanadi , D. Caulfield , R. Jacobson. Utilização de fibras naturais em compósitos plásticos: problemas e oportunidades Lignocelulósico-plástico Compos (1997) , pp. 23 de – 51.
- 7 - DU Shah. Desenvolvimento de compósitos de fibra vegetal para aplicações estruturais, otimizando parâmetros compostos: uma revisão crítica. J Mater Sci , 48 (2013) , pp. 6083 – 6107.
- 8 - KG Satyanarayana , JL Guimarães , F. Wypych. Estudos sobre fibras lignocelulósicas do Brasil. Parte I: Fonte, produção, morfologia, propriedades e aplicações. Compostos Parte A: Appl Sci Manufact , 38 (7) (2007) , pp. 1694 - 1709