

**15º Congresso Brasileiro de Polímeros**  
**27 a 31 de outubro de 2019**

## **A INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO HIGROTÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS POLIÉSTER/ TECIDO JUTA-ALGODÃO**

**Maria Verônica S. Pinto<sup>1\*</sup>, Antonio G. B. Lima<sup>1</sup>, Clarissa C. Angrizani<sup>2</sup> e Sandro C. Amico<sup>2</sup>**

*1 - Departamento de Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG),*

*Campina Grande, PB, [antonio.gilson@ufcg.edu.br](mailto:antonio.gilson@ufcg.edu.br)*

*2 - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),*

*Porto Alegre, RS*

**Resumo:** Na linha da tecnologia sustentável, o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais vem despertando um interesse na criação de materiais com aspectos inovadores podendo ser aplicados em diferentes setores, em aplicações não estruturais. Levando em consideração a aplicação usual de compósitos com fibras vegetais em ambientes úmidos, o objetivo deste trabalho foi realizar experimentos com compósitos poliméricos reforçados por tecido juta/algodão para estudar os efeitos da umidade e temperatura nas propriedades de tração e flexão. Os resultados mostraram que, no período de 504 horas de envelhecimento, ocorreu decréscimo no valor das propriedades de tração e flexão devido à sorção de água. A perda das propriedades mecânicas pode ser atribuída à plastificação da matriz e a delaminação das fibras nos compósitos, reduzindo a adesão interfacial entre fibra e matriz.

**Palavras-chave:** *fibras vegetais; umidade; temperatura; propriedades mecânicas.*

### ***The influence of hygrothermal aging on the mechanical properties of polyester / jute-cotton fabric composite***

**Abstract:** In the line of sustainable technology, the development of composites reinforced with natural fibers come awake an interest in the creation of materials with innovative aspects that can be applied in different sectors in non-structural applications. Taking into consideration the usual application of composites with vegetable fibers in moist environments, the aim of this work was to perform experiments with jute/cotton fabric reinforced polymeric composites to study the effects of moisture and temperature on the tensile and flexural properties. The results showed that, during 504 hours of aging, there was a decrease in the value of tensile and flexural properties due to water sorption. The loss of mechanical properties can be attributed to the plastification of the matrix and the delamination of the fibers in the composites, reducing interfacial adhesion between fiber and matrix.

**Keywords:** *vegetable fibers; moisture; temperature; mechanical properties.*

### **Introdução**

Com a necessidade de combater a poluição do planeta, a cada dia, as leis ambientais tornam-se mais severas, e, além disso, os consumidores estão começando a valorizar empresas que focam em reduzir o impacto ambiental em seus processos de fabricação e produtos. Com base nisso, pesquisas de novos materiais voltados ao princípio da sustentabilidade têm sido consideradas como uma descoberta inovadora, gerando interesse pela comunidade científica. Entre esses materiais encontram-se os biopolímeros e os compósitos produzidos a partir de recursos de fontes renováveis. Grande parte dos compósitos poliméricos de alto desempenho são reforçados por fibras sintéticas e longas, como as fibras de vidro, carbono e poliaramida. No entanto, devido ao seu alto custo e grande consumo de energia para obtenção das mesmas, nos últimos anos pesquisas sobre a utilização das fibras vegetais como elemento de reforço em matrizes poliméricas têm sido bastante intensificadas. Isto porque estas fibras apesar de possuírem propriedades mecânicas limitadas, são abundantes e de baixo custo, apresentam densidade e abrasividade reduzidas, são biodegradáveis e

possuem importância econômica para as regiões produtoras, particularmente no Norte e Nordeste do Brasil. As desvantagens que essas fibras apresentam estão relacionadas a incompatibilidade com as matrizes poliméricas, alta absorção de água e baixa resistência ao ataque de alguns microorganismos. A absorção de umidade das fibras vegetais é devido ao seu caráter hidrofílico. Quando estas fibras são utilizadas em um compósito de matriz termorrígida, se forem previamente secas, resultam em um compósito com propriedades mecânicas para aplicações na indústria automotiva e aeroespacial [1].

Com base nisso, o objetivo deste estudo é relacionar o envelhecimento higrotérmico de compósitos poliéster/juta/algodão com as propriedades mecânicas em resistência à tração e à flexão, com vistas a otimização do processo e do produto.

## Experimental

Para obtenção dos compósitos, utilizou-se o tecido híbrido unidirecional de fibra de juta/algodão confeccionado pela Indústria Têxtil Castanhal (gramatura de 350 g/m<sup>2</sup>), com composição 75% de juta na trama e 25% de algodão no urdume, resina poliéster insaturada ortoftálica pré-acelerada UCEFLEX UC 5518 e iniciador peróxido de metil etil cetona (PMEK).

Placas do compósito foram fabricadas por RTM, nas dimensões da placa são 30 × 30 × 0,3 cm<sup>3</sup>, com %Vf de 32 (quatro camadas de tecido) e %Vf de 48 (seis camadas de tecido). No processo de infiltração da resina utilizou-se uma pressão variando de 0,1 a 0,8 bar, levando aproximadamente 9 minutos para o preenchimento do molde. A partir deste momento, foi deixado o compósito curando no interior do molde durante 24 h à temperatura ambiente. Após esse tempo, o mesmo foi levado para uma estufa com circulação de ar a 60 °C/3 h para realizar a pós-cura. Posteriormente, as amostras foram cortadas nas dimensões desejadas, em uma máquina laser devido à necessidade de melhor uniformidade no corte, o qual seguiu a direção de alinhamento das fibras de juta, de acordo com as normas ASTM D3039 e ASTM D 790. Os corpos de prova para tração e flexão foram ensaiados em uma máquina INSTRON 3382 com uma célula de carga de 100KN com extensômetro e velocidade de deslocamento de travessa de 1 mm/min. Tanto a moldagem do compósito quanto os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais Poliméricos da UFRGS. Os experimentos de absorção de água foram realizados no Laboratório de Térmica e Fluídos da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica da UFCG, para isso fez-se uso de uma placa térmica com temperatura controlada, obedecendo ao seguinte procedimento: foram preparados dois banhos com água destilada, nas temperaturas de 50 e 75°C. Para cada condição de envelhecimento foram utilizadas cinco (5) amostras de compósito com o objetivo de verificar a influência da absorção de água nas resistências a tração (Fig. 1a) e flexão (Fig. 1b).

Nos períodos de 48, 96, 168, 288 e 504 horas, as amostras foram retiradas da água, secas com papel toalha para retirar o excesso de água da superfície e em seguida condicionadas em um dessecador até o momento do ensaio.



**Figura 1** – Compósito no interior do banho térmico sob placa aquecedora durante a sorção de água. (a) Amostra usada para o ensaio de tração e (b) amostra usada para o ensaio de flexão.

## Resultados e Discussão

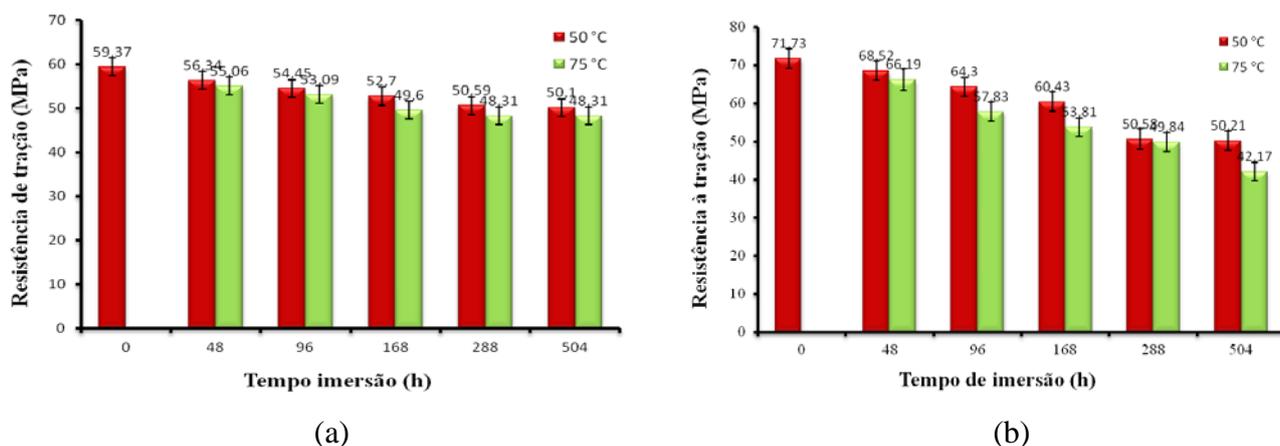
### Ensaio de Tração

A Fig. 2a ilustra os valores de resistência à tração dos compósitos com 32% de teor de fibra na condição seca e saturados de água nas temperaturas de 50 e 75 °C. É evidente a perda de resistência à tração dos compósitos quando estes absorvem água. Espert *et al.* [2] atribuem este efeito à diminuição da adesão interfacial entre a fibra e a matriz, provocada pela absorção de água.

Os resultados na Fig. 2a indicam que a resistência à tração dos compósitos reforçados com tecido juta/algodão, para os casos de tempo inicial (0h) e final (504h), decresceu aproximadamente 16%. Segundo Scida *et al.* [3], as fibras ao absorverem água, reduzem a adesão interfacial fibra/matriz. Esta absorção excessiva de água pela matriz e o inchaço das fibras, conduz à fissuração da matriz e ao deslocamento das fibras no final.

Como a água age como plastificante na matriz, as microfibrilas podem mover-se mais livremente porque as ligações internas são enfraquecidas (ou rompidas em alguns casos). Com aplicação da carga em tração, as microfibrilas e os eixos da fibra mudam de tal modo que as microfibrilas se alinham na direção da fibra. Consequentemente, este fenômeno tem um efeito no compósito, até mesmo se o reforço é feito de fios torcidos e a matriz termofixa não permite que os fios sejam distorcidos. Na verdade, as ligações entre as fibras e a resina termofixa, são mais fortes do que as ligações naturais dentro dos feixes e dentro das fibras individuais [3].

Ao se comparar, na Fig. 2a, as amostras que estavam imersas a temperatura de 50 °C com as que foram imersas a 75 °C, fica evidente que existe uma perda de resistência à tração dos compósitos ao longo do tempo de imersão, mas a mesma é semelhante em um mesmo período de estudo. Por exemplo, após 504 horas de imersão a 50 e 75 °C, amostras com o mesmo teor de fibras, perderam, respectivamente, 16 e 19% da sua resistência inicial. O aumento da temperatura acelerou a sorção de água no compósito, o que é intensificado pela afinidade da água por grupos funcionais específicos das fibras vegetais de natureza polar (hidrofílica), no entanto não prejudicou tanto a resistência à tração devido a menor quantidade de fibra vegetal. Cândido [4] relata que, em geral, a sorção de água provoca reduções na adesão reforço/matriz polimérica, devido à deterioração das interações físico-químicas existentes entre a resina e a fibra.



**Figura 2** - Resistência à tração dos compósitos com 32% (a) e 48% (b) de teor de fibras de tecido juta/algodão imersos em água destilada nas temperaturas de 50°C e 75°C.

Na Fig. 2b observa-se o efeito do tempo de imersão em água a 50 e 75°C na resistência à tração de compósitos contendo 48% de teor de fibra de tecido juta/algodão. Comparando a Fig. 2a (32% volume fibras) com a Fig. 2b (48% volume fibras), verifica-se que nesta última, para o tempo de 504 horas, a resistência apresentou valores bem menores e mais distintos para cada temperatura, ou seja, após 504h de imersão em água a 50 e 75°C, a resistência dos compósitos com 32% de fibras diminuiu 0,4 e 12,7%, respectivamente, ao invés dos 16 e 19% observados para os compósitos com

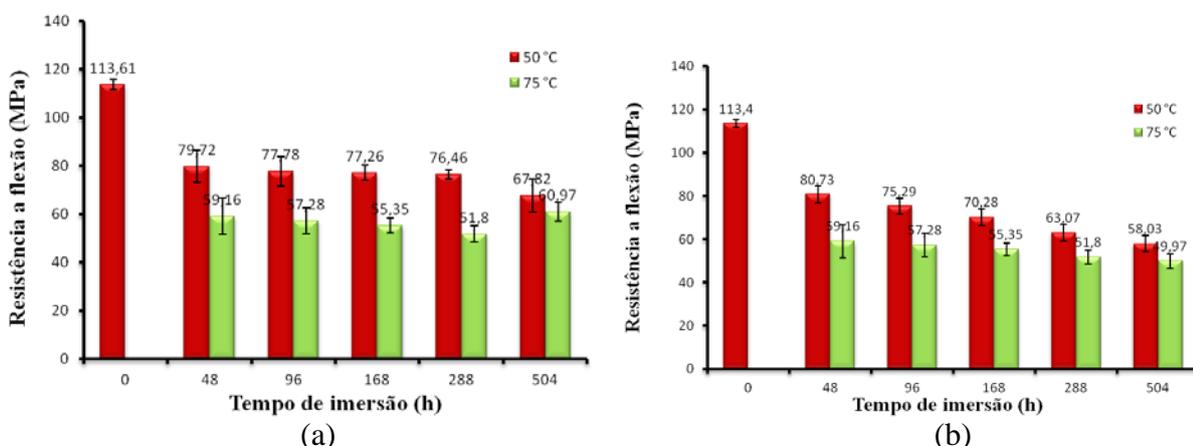
48% de fibras. Isto evidencia a maior sensibilidade à umidade dos sistemas contendo maior concentração de fibras vegetais e indicam serem estas as responsáveis pela durabilidade dos compósitos em condições úmidas assim, quanto maior o teor de fibras vegetais, maior o teor de água absorvido e maior e mais rápida a deterioração das propriedades do compósito.

Observa-se ainda, na Fig. 2b, que os compósitos secos atingiram uma resistência de quase 72 MPa indicando uma propriedade elevada e adequada a várias aplicações. Porém, quando imersos em água, suas propriedades diminuíram mais significativamente a partir das 48 h de imersão, devido ao aumento da absorção da água que, como dito anteriormente, é bastante sensível ao teor de fibras vegetais no compósito. Os dados também indicam que esses compósitos não devem ser utilizados em condições de imersão prolongada em água, mas podem ser utilizados em ambientes úmidos por tempos curtos.

### Ensaio de Flexão

Na resistência à flexão de compósitos com 32% e 48% de teor de fibra de tecido juta/algodão (Fig. 3a e 3b), os dados evidenciam que essa propriedade depende do teor de fibras, tempo e temperatura de imersão. A resistência à flexão diminui com o aumento do tempo e temperatura de imersão em água e esse decréscimo é acentuado nas primeiras 48h de imersão, praticamente não decrescendo para tempos mais longos. A resistência à flexão dos compósitos com 32% de fibras diminuiu 29,83% e 47,93%, após 48h de imersão em água, nas temperaturas de 50 e 75°C, respectivamente, e 40,30% e 46,38%, após 504h de imersão nessas mesmas temperaturas. Segundo Mazuki *et al.* [5], na absorção de água em compósitos de poliéster insaturado com fibras vegetais, as moléculas de água se difundem para a matriz, diminuindo a temperatura de transição vítrea e aumentando a taxa de difusão. Moléculas de água absorvida preenchem as cavidades e fissuras dentro do compósito e atuam como plastificante tornando o compósito com uma estrutura mais flexível [6-8].

A resistência à flexão dos compósitos com 48% de teor de fibras com tecido juta/algodão (Fig.3b) à seco e imersos em água nas temperaturas de 50 e 75°C, sofreram reduções de 28,8% e 47,83%, após 48h de imersão, e de 48,83% e 55,93%, após 504h de imersão em água. Esses dados evidenciam a rápida absorção de água nas primeiras 48h de imersão seguida de uma absorção menor e mais lenta em tempos longos. As propriedades foram mais afetadas nos estágios iniciais da absorção de água porque, nesta etapa, praticamente toda a capacidade de sorção de água dos sistemas é manifestada e a deterioração da interface fibra-matriz praticamente se completa nesse intervalo de tempo. Quando os compósitos são imersos em água, as camadas externas ficam permanentemente expostas à água e, conseqüentemente sofrem maior degradação do que as camadas internas. Assim, acredita-se que o decréscimo apresentado em ambas as figuras (Fig. 3) da resistência à flexão deve-se principalmente ao aumento da plasticidade, que se inicia na matriz do compósito (resina poliéster), passando para as fibras vegetais (reforço) ao longo do tempo de imersão [9]. Observa-se que as camadas que apresentam maior dano são as superficiais, as quais são mais suscetíveis a dilatações térmicas influenciando na diminuição da resistência dos compósitos [9].



**Figura 3** - Resistência à flexão dos compósitos com 32% (a) e 48% (b) de teor de fibras de tecido juta/algodão imersos em água destilada nas temperaturas de 50°C e 75°C.

## Conclusões

Os resultados obtidos indicam que as propriedades dos compósitos aumentaram com o teor de fibras e diminuíram com o tempo e temperatura de imersão em água. Observou-se que, com o ensaio de resistência à tração, as propriedades foram menos afetadas pela imersão em água a 50 e 75°C por até 504h do que na resistência à flexão, porque provavelmente o fenômeno da plastificação da matriz polimérica apresentou mais influência que a perda da adesão fibra/matriz.

O comportamento mecânico do sistema está associado às reduções na adesão fibra-matriz, descolamento das fibras, criação de tensões internas e plastificação da matriz com a absorção de água.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Elekeiroz pela doação da resina poliéster, a CAPES pelo apoio financeiro, e aos Laboratórios de Materiais Poliméricos (UFRGS) e Experimental de Térmica e Fluidos (UFCG).

## Referências

1. E. Omrani; P.L. Menezes; P.K. Rohatgi *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2016, 19, 717.
2. A. Espert; F. Vilaplana; S. Karlsson *Compos. Part A*. 2004, 35(11), 1267.
3. D. Scida; M. Assarar; C. Poilâne; R. Ayad *Compos. Part B*. 2013, 48, 51.
4. G. M. Cândido, Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2001.
5. A. Mazuki; H. Akil; S. Safiee; Z. Ishak; A.A. Bakar *Compos. Part B*. 2011, 42(1), 71.
6. H.N. Dhakal; Z.Y. Zhang; M.O.W. Richardson *Compos. Sci. Technol*. 2007, 67(7–8), 1674.
7. C.G. Hoyos; A. Vásquez *Compos. Part B*. 2012, 43(8), 3120.
8. R.V. Da Silva; E.M.F. Aquino; L.P.S. Rodrigues; A.R.F. Barros. *Matéria (Rio J.)* 2008, 13(1), 154.
9. A. Campos, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior (UBI), 2012.