



ANÁLISE EXPERIMENTAL DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL

Danielton Gomes dos Santos, danielton_santos@yahoo.com.br¹

Antonio Gilson Barbosa de Lima, antonio.gilson@ufcg.edu.br²

Paula de Sousa Costa, paullacosta@yahoo.com.br²

Laura Hecker de Carvalho, heckerdecarvalho@yahoo.com.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará, Av. Alameda José Quintino, s/n, CEP 63400-000, Cedro, CE

²Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande, PB

Resumo: Os compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais sofrem grande influência da umidade; esta penetra no interior do material promovendo o inchaço das fibras e aumento das tensões internas, comprometendo a sua vida útil. Isto se deve a maior afinidade das fibras vegetais com as moléculas de água. Neste trabalho realizou-se um estudo experimental de absorção de água em compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de sisal (44,6% de fibras de sisal e 55,4% de matriz poliéster), com dimensões 20x20x3mm³. Os testes de absorção de água foram realizados através da imersão das amostras em banhos de água destilada em diferentes temperaturas e o teor de umidade calculado pela diferença de peso entre as amostras secas e umidificadas em diferentes instantes de tempo. Resultados da cinética de absorção de água evidenciaram o efeito da temperatura na taxa de umidificação e tempo total do processo, bem como nas propriedades mecânicas do material pós-umidificação.

Palavras-chave: Compósito, fibras de sisal, absorção de água, propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

A crescente exigência das novas tecnologias, sobretudo no que se refere à combinação de diferentes propriedades de variados materiais, como a resistência mecânica e tenacidade têm levado ao surgimento de novos materiais. Os materiais compósitos são uma classe de materiais que permitem unir diferentes propriedades mecânicas que individualmente os materiais não teriam como atender, possibilitando assim, diversas aplicações na indústria, com a finalidade de diminuir os custos e permitir diferentes propriedades aos materiais. Os compósitos são cada vez mais utilizados como substitutos dos materiais convencionais dado que apresentam inúmeras vantagens.

Compósito é qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades (Callister Jr., 2012). Nos últimos anos, o estudo de novos materiais com bom desempenho e baixo custo tem levado ao uso de reforço de fibras vegetais em substituição ao reforço de fibras sintéticas, contudo as fibras vegetais apresentam desvantagens como: Elevada absorção de umidade, baixa estabilidade térmica e propriedades mecânicas inferiores às das fibras sintéticas.

A temperatura limite de aplicação das fibras vegetais é relativamente baixa, em torno de 200°C (Silva, 2003), o que faz com que as propriedades das fibras fiquem abaixo de suas propriedades à temperatura ambiente. Dessa maneira seu uso fica limitado a materiais plásticos com baixa temperatura de processamento, como por exemplo: polietileno, polipropileno, policloreto de vinila e poliestireno.

O uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, com o objetivo de substituir total ou parcialmente as fibras sintéticas, tem recebido muita atenção dos pesquisadores devido ao fato de as fibras vegetais possuírem características e vantagens como: baixa densidade, boa resistência, baixa abrasividade aos equipamentos de processo, não são tóxicas ou poluentes diminuindo assim problemas ambientais, além de serem originárias de fontes renováveis e disponíveis em todo o mundo (Nobrega et al., 2005; Cavalcanti et al., 2004; Mothé e Araújo, 2004; Medeiros et al., 2003; Bledzki e Gassan, 1999). Contudo, a natureza hidrofílica das fibras vegetais e a umidade presente nos compósitos afeta suas propriedades mecânicas, o que conduz a necessidade de estudos nessa área. O presente trabalho tem por objetivo analisar a influência da temperatura na cinética de absorção de água dos compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais, bem como nas propriedades mecânicas do material pós-umidificação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metodologia Experimental

O poliéster insaturado (Resapol 10-316) foi curado com 1% MEK (metil etil cetona). As fibras de sisal foram obtidas em uma fazenda em Pocinhos - PB, Brasil. As fibras foram postas a secar em uma estufa com circulação forçada de ar inicialmente à temperatura de 60°C até atingir peso constante e posteriormente a 105°C por 24 horas, para obter a massa totalmente seca. As fibras foram retiradas da estufa em tempos determinados e pesadas em balança de precisão até o peso constante ser obtido. A perda de umidade, assim como a taxa de secagem das fibras de sisal em função do tempo foi obtida e o resultado apresentado.

As fibras secas foram cortadas em comprimentos de 35 mm. Os compósitos foram confeccionados com diferentes teores de fibras, moldados por compressão (20%, 25,5%, 37%, 44,6%, 50%) e escolhido o teor de fibras que proporcionou as melhores propriedades mecânicas dos compósitos (44,6%). O molde foi fechado e aplicado uma carga de 8 toneladas a uma temperatura de 80°C. As placas compósitas obtidas foram pós-curadas num forno a 60°C durante 48 h. Os testes de propriedades mecânicas foram conduzidos de acordo com as normas ASTM D-3039 para tração e ASTM D-256 para testes de impacto, (Fig. 1).

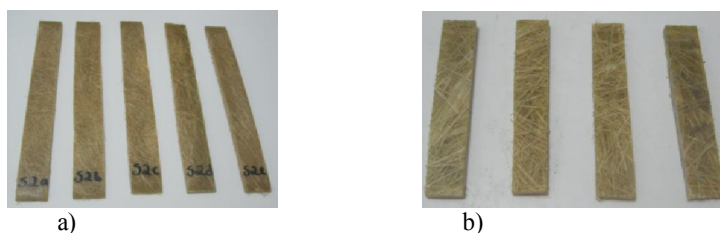


Figura 1. Corpos de prova de a) tração e b) impacto.

Para os ensaios de absorção de água, amostras compósitas de 20x20x3mm³ foram cortadas das placas e suas fronteiras seladas com resina para evitar o transporte de água por capilaridade. A absorção de água das amostras até atingirem o peso úmido constante foi realizada por imersão em banhos de água a 25°C, 50°C e 70°C, Fig. 2; a absorção de água foi calculada comparando-se o peso inicial e após a exposição à água, em diferentes instantes do processo. A massa das amostras em cada instante de tempo foi realizada em uma balança eletrônica digital com tara automática com precisão de 0,1 mg. Foram tomadas medidas da massa das amostras inicialmente de hora em hora e posteriormente a cada 24 horas.



Figura 2. Corpos de prova para absorção de umidade.

Para cada temperatura de banho (25°C, 50°C e 70°C), utilizaram-se cinco amostras de compósitos com 44,6% de teor de fibras de sisal (melhores propriedades mecânicas dos compósitos) e calculado a média dos resultados do teor de umidade. Os ensaios de tração e impacto das amostras secas e umidificadas foram realizadas no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UAEMA da UFCG nas condições normais de temperatura (ambiente). Para o ensaio de tração utilizou-se a Máquina universal Loyd LR 10KN. Para o ensaio de impacto utilizou-se uma máquina Ceast Resil 5.5 operando com martelo de 2,75 J e os resultados foram analisados a partir de uma média de cinco corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. As Fibras

Pode-se observar através das Figuras 3 e 4 a dinâmica do processo secagem das fibras de sisal.

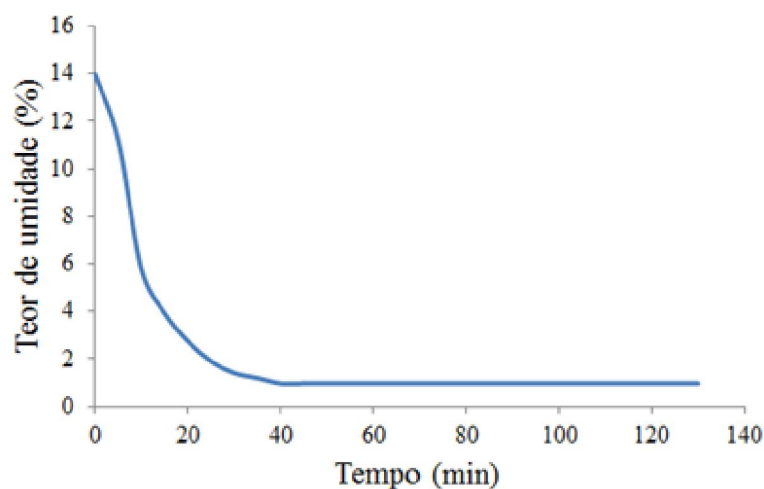


Figura 3. Perda de umidade das fibras de sisal ao longo do tempo durante a secagem a 60°C

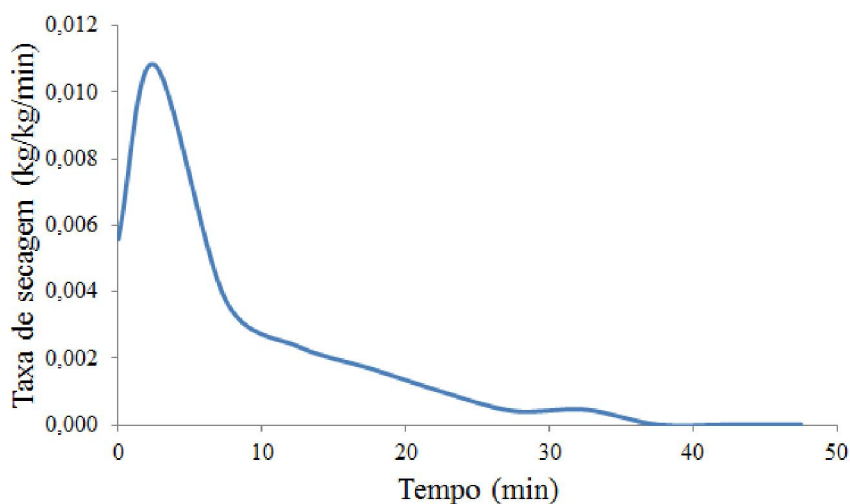


Figura 4. Taxa de secagem das fibras de sisal ao longo do tempo

Quando se tem início a secagem há uma rápida elevação da temperatura da fibra tendendo a ajustar-se com a temperatura do ar aquecido. Nesse estágio, a fibra está saturada de água e o ar aquecido promove a evaporação da umidade. Percebe-se nos primeiros minutos do processo uma elevada taxa de secagem, Fig. 4. Tendo em vista que a temperatura superficial da fibra se eleva durante a secagem, o processo ocorre a taxa de secagem decrescente, ou seja, a velocidade de migração da água do interior da fibra até a sua superfície é menor do que a velocidade de retirada de água da superfície através do ar aquecido. A temperatura da fibra cresce na medida em que a taxa de secagem decresce. No final do processo, a taxa de secagem tende a zero quando a umidade aproxima-se do teor de umidade de equilíbrio, Fig. 3 e a temperatura da fibra se estabiliza.

As Micrografias Eletrônicas de Varredura (MEV) das fibras de sisal in natura são mostradas nas Fig. 5 (a) e 5 (b) com ampliação de 100 e 500X, respectivamente. Observam-se as células do parênquima largamente distribuídas ao longo de toda a fibra. As fibras apresentaram características morfológicas e diâmetros semelhantes. De acordo com Martins *et al.* (2004), as fibras são formadas por um feixe composto de células individuais denominadas fibras elementares ou microfibrilas, unidas entre si pela lignina e polioses, de maneira a formar filamentos contínuos em todo o sentido do comprimento da fibra e proporcionando, desta forma, uma certa rigidez a mesma.

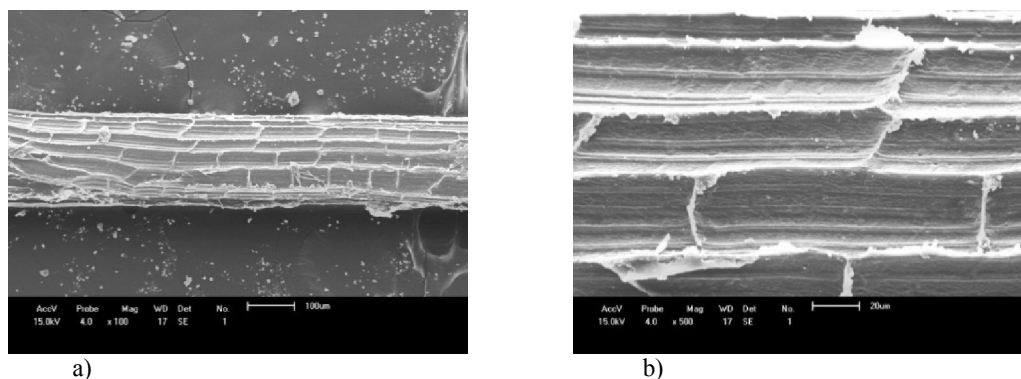


Figura 5. Micrografia da fibra de sisal. a) aumento de 100X e b) aumento de 500X

3.2 Os Compósitos

3.2.1 Cinética de Sorção de Água

A Figura 6 apresenta os resultados do teor de umidade médio experimental dos compósitos para diferentes temperaturas.

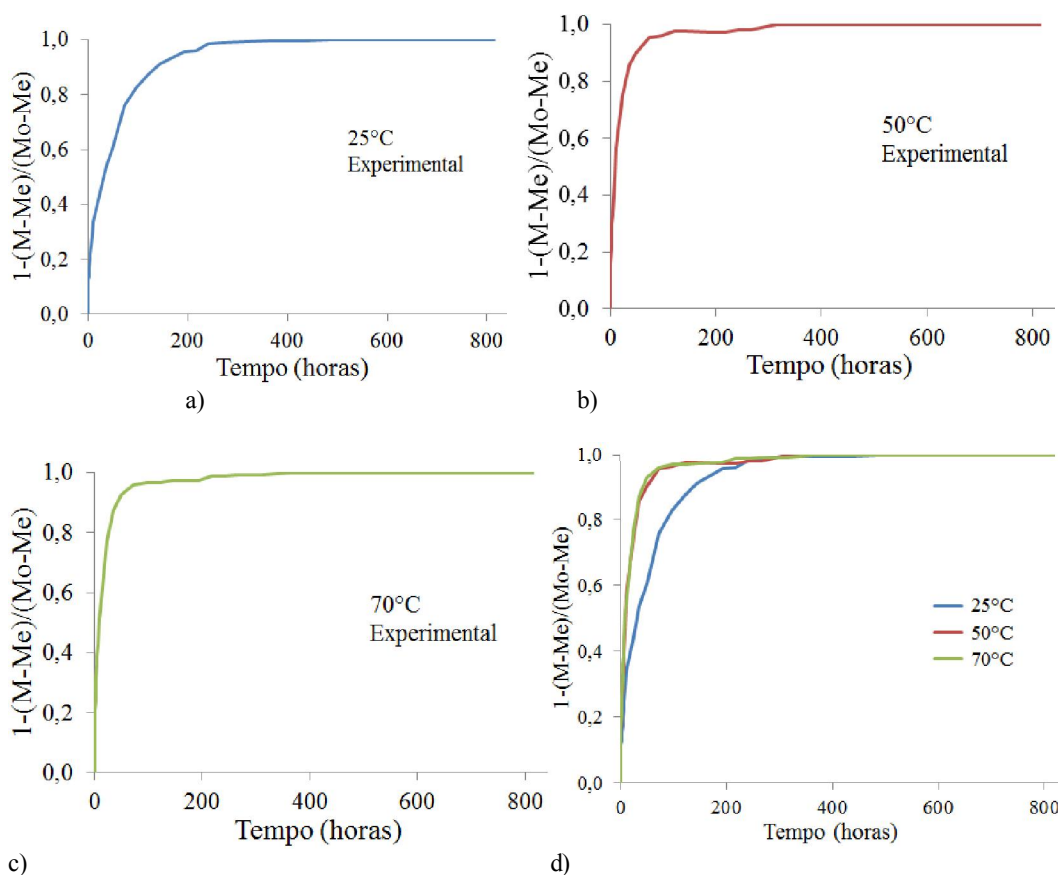


Figura 6. Evolução temporal do teor de umidade médio adimensional, durante a umidificação do compósito de poliéster insaturado reforçado com 44,6% de fibras de sisal nas temperaturas de a) 25°C, b) 50°C, c) 70°C e d) todas as curvas juntas.

Verifica-se que após as amostras serem imersas em água, a absorção de umidade ocorre de maneira bastante rápida nas primeiras 50 horas. Segundo Melo (2014), esse fenômeno pode ser explicado pela facilidade com que as moléculas de água têm de se movimentar entre os micros vazios das cadeias poliméricas e de defeitos nos compósitos devido a falhas de adesão entre matriz e fibras. Para tempos mais longos à curva vai mudando sua inclinação até atingir um patamar linear o qual representa o nível de saturação da umidade; este alívio da absorção é atribuído ao modo como as moléculas de água se deslocam nas fibras que é por capilaridade através da sua superfície ou pelo lúmen. Para altas

temperaturas, a cinética de absorção de água é mais rápida, sendo dominada por efeitos térmicos, o que implica que a difusão de massa no interior do material é fortemente dependente da temperatura.

As amostras utilizadas experimentaram aumento do volume devido ao inchaço do compósito após o banho de água em diferentes temperaturas, Tab. 1 e Tab. 2. O volume do compósito foi calculado da seguinte maneira: comprimento x largura x profundidade. As dimensões foram obtidas fazendo-se uma média de cinco leituras no comprimento, largura e profundidade das amostras. O teor de umidade máxima foi calculado comparando-se o peso inicial e após a exposição à água.

Tabela 1. Dimensões das amostras antes e depois do banho térmico.

Temperatura do banho (°C)	Dimensões das amostras					
	Amostra Seca			Amostra saturada (817h)		
	Comprimento	Largura	Profundidade	Comprimento	Largura	Profundidade
25	19,59	19,15	3,81	19,81	19,73	4,38
50	19,83	19,69	3,78	19,94	20,03	4,50
70	19,04	19,31	3,84	19,61	19,67	4,81

Tabela 2. Volumes iniciais e finais, teor de umidade e tempo de processo dos compósitos submetidos ao ensaio de sorção em água.

Temperatura do banho (°C)	Volume inicial do compósito (mm ³)	Volume final do compósito (mm ³)	Aumento de volume (%)	Teor de umidade máxima (%)	Tempo para atingir o equilíbrio (h)	Tempo total de imersão (h)
25	1429,32	1711,93	19,77	14,68	529	817
50	1476,21	1797,65	21,77	14,96	433	817
70	1411,81	1854,39	31,34	15,04	361	817

Observou-se na Tabela 2, que o teor de umidade para o compósito saturado nos três tipos de banho térmico permaneceu praticamente o mesmo, contudo verificou-se que para as amostras saturadas em água a 25°C, o aumento de volume observado foi de 19,77%, para as amostras saturadas a 50°C, o aumento de volume foi de 21,77% e para as amostras saturadas a 70°C, de 31,34%. O aumento de volume das amostras foi maior que o teor de umidade máxima, isto provavelmente deve estar associado ao efeito combinado da temperatura do banho com a umidade que acelera a deterioração da amostra, resultado semelhante também foi relatado por Badia et al., (2014). O aumento de volume de 31,34% para a amostra submetida ao banho de 70°C também pode estar relacionado com o fato de 70°C ser a temperatura de Transição vítrea para a resina poliéster; isto promove mais expansão das cadeias poliméricas do material, ocasionando uma maior mobilidade das mesmas, o que justifica o aumento de volume do material. Em altas temperaturas a distância entre as cadeias poliméricas aumenta tornando a amostra mais dilatada, provocando esse incremento de volume (Brydson, 1999).

3.2.2 Propriedades Mecânicas

Os resultados obtidos nos ensaios em tração e impacto dos compósitos seco e umidificados em diferentes temperaturas estão ilustrados nas Fig. 7 e 8.

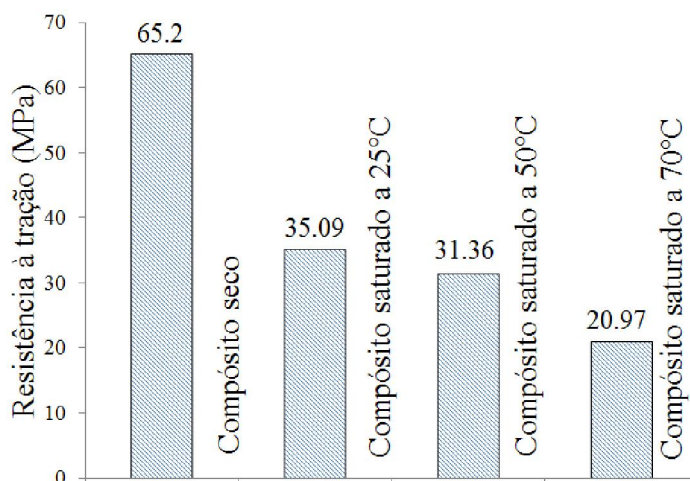


Figura 7. Resistência à tração dos compósitos poliméricos reforçados com 44,6% de fibra de sisal.

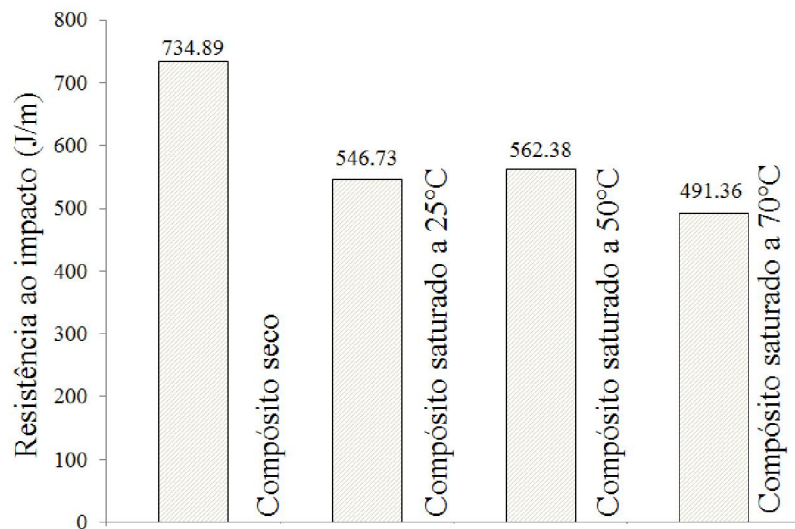


Figura 8. Resistência ao impacto dos compósitos poliméricos reforçados com 44,6% de fibra de sisal.

Os resultados indicam que a resistência à tração e resistência ao impacto dos compósitos diminui com o aumento da temperatura do banho de água, o que deve estar provavelmente relacionado com o fato de que com o aumento da temperatura também se vê uma deterioração das amostras, facilitando a entrada de água no compósito, resultando assim uma queda das propriedades mecânicas. Resultados semelhantes também foram reportados por Espert *et al.*, (2004) e Osman *et al.*, (2009).

A diminuição nos valores das propriedades mecânicas do compósito estão associados com a diminuição da adesão interfacial da fibra com a matriz causada pela absorção de água do compósito (Nobrega *et al.*, 2010).

A água penetra no interior do compósito, o que decrece a ligação entre a fibra e matriz polimérica, como consequência as ligações físicas entre resina e fibras quebram, o que justifica a queda nas propriedades mecânicas. Temperaturas mais elevadas aceleram o comportamento de absorção de umidade. Quando a temperatura do banho em água é aumentada, o tempo de saturação do compósito é grandemente reduzido, e gera queda nas propriedades mecânicas dos mesmos.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A cinética de sorção de água é fortemente influenciada pela temperatura, sendo mais acentuada em temperaturas mais elevadas.
- Para qualquer temperatura, a difusão de água no interior do compósito é rápida durante as primeiras 50 horas do processo, reduzindo sua taxa de absorção de água para tempos maiores.
- Fica evidente a perda de resistência à tração e resistência ao impacto dos compósitos quando estes absorvem umidade, fato este atribuído ao desprendimento de camadas levando a fragilização do compósito.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFCG, IFCE, CAPES, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais - uma introdução**. Utah: LTC, 2002
- NÓBREGA, M.M.S., FONSECA, V.M.; CARVALHO, L.H. **Uso de Fibras de Caroá e Macambira em Compósitos de Matriz Poliéster**. 8º Congresso Brasileiro de Polímeros, Anais... pg.1231-1232. Águas de Lindóia – São Paulo, 2005.
- CAVALCANTI, W. S., CARVALHO, L.H., ALSINA, O.L.S. LIMA, A.G.B. DE. **Sorção de Água de Compósito Poliéster Insaturado Reforçados por Tecido de Juta e Tecido Híbrido Juta/Vidro**. XVI CBECIMAT, Porto Alegre, 2004.
- MOTHÉ, C. G.; ARAUJO, C. R. **Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, n. 4, p. 274-278, 2004.

- MEDEIROS, E.S.; AGNELLI, J.A.M.; JOSEPH, K.; CARVALHO, L.H.; MATTOSO, L.H.C.; **Curing behavior of a novolac-type phenolic resin analyzed by differential scanning calorimetry.** Journal Applied Polymer Science, vol. 90, n. 6, p.1678, 2003.
- BLIEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composite reinforced with cellulose based fibres,** Progress in Polymer Science, vol. 24, n.2, p.221-274, 1999.
- SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil, 2003.
- MELO, J. B. C. A. **Absorção de água em compósitos poliméricos reforçados por fibras da folha do abacaxi: modelagem e simulação.** 131f. Tese de Doutorado. Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, 2014.
- MARTINS, M. A.; KIYOHARA, P. K.; JOEKES, I. **Scanning electron microscopy study of raw and chemically modified sisal fibers.** Journal of Applied Polymer Science. vol. 94, n. 6, p. 2333–2340, 2004.
- ESPERT, A., VILAPLANA, F., KARLSSON, S. **Comparison of water absorption in natural cellulosic fiber from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,** vol. 35, n. 11, p.1267–1276, 2004.
- OSMAN, E., VAKHGUEL, E., SBARSKI, I., MUTASHER, S. **Water absorption behavior and its effect on the mechanical properties of kenaf natural fiber unsaturated polyester composites.** 18th International Conference on Composite Materials, Edinburgh, Scotland, 2009.
- BRYDSON, J. A. **“Plastics Materials”.** Butterworth-Heinemann, 7 th, London, England, 944p, 1999.
- BADIA, J. D., KITTIKORN, T., STRÖMBERG, E., SANTONJA-BLASCO, L., MARTÍNEZ-FELIPE, A., RIBES-GREUS, A., EK, M., KARLSSON, S. **Water absorption and hydrothermal performance of PHBV/sisal biocomposites.** Polymer Degradation and Stability. vol. 108, doi:10.1016/j.polymdegradstab.2014.04.012, p. 166-174, 2014.
- NOBREGA, M. M. S., CAVALCANTI, W. S., CARVALHO, L. H., LIMA, A. G. B. **Water absorption in unsaturated polyester composites reinforced with caroá fiber fabrics: modeling and simulation.** Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. vol. 41, n. 5, p. 300-305, 2010.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF WATER ABSORPTION IN POLYESTER MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH SISAL FIBER

Danielton Gomes dos Santos, danielton_santos@yahoo.com.br¹

Antonio Gilson Barbosa de Lima, antonio.gilson@ufcg.edu.br²

Paula de Sousa Costa, paullacostta@yahoo.com.br²

Laura Hecker de Carvalho, heckerdecarvalho@yahoo.com.br²

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, Av. Alameda José Quintino, s/n, CEP 63400-000, Cedro, CE

²Federal University of Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande, PB

Abstract. Polymeric composites reinforced with natural fibers are greatly influenced by moisture; This penetrates inside the material promoting the swelling of the fibers and increased internal stresses, affecting their useful life. This is due to the greater affinity of plant fibers with water molecules. In this work was carried out an experimental study of water absorption in polyester matrix composites reinforced with sisal fibers (44.6% sisal fibers, and 55.4% polyester matrix) with dimensions 20x20x3mm³. Water absorption tests were performed by immersing of the sample in distilled water baths at different temperatures and the moisture content calculated from the weight difference between the dry and humidified samples at different time instants. Water absorption kinetics results show the effect of temperature on the humidification rate and process total time as well as the mechanical properties of the material post-humidification.

Keywords: Composite, sisal fibers, water absorption, mechanical properties.