

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ TERMORRÍGIDA COM FIBRAS DE SISAL/VIDRO PARA APLICAÇÃO EM CONTAINERS DA CONSTRUÇÃO CIVIL<sup>1</sup>

Zora Ionara Gama dos Santos<sup>2</sup>

Thaís Mérlin Silva<sup>3</sup>

Rômulo de Freitas Farias<sup>4</sup>

Joyce Batista Azevedo<sup>4</sup>

Everton Silva dos Santos<sup>5</sup>

## Resumo

Neste trabalho foram avaliadas as propriedades mecânicas e absorção de água dos compósitos de matriz termorrígida contendo como fase dispersa fibras de sisal e de vidro produzidos pelo processo hand lay-up. Para tanto foram feitos ensaios de tração, vertical e horizontal, e absorção de água segundo normas ISO 527 e ASTM D570-98 respectivamente. O que motivou o desenvolvimento deste projeto foi a possibilidade de substituir a fibra de vidro por fibras naturais na produção de placas usadas na fabricação de containers para construção civil. Os resultados mostraram que ambos compósitos apresentaram características de materiais com fratura frágil e que estes são isotrópicos. Mostraram ainda que as propriedades mecânicas obtidas com os compósitos com fibra de vidro são superiores àquelas obtidas com fibra de sisal de mesma fração volumétrica e que as amostras contendo fibra de sisal absorveram uma quantidade de água superior às amostras contendo fibra de vidro.

**Palavras-chave:** Compósitos; Fibras naturais; Propriedades mecânicas.

## EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES MATRIX THERMOSETTING SISAL/ GLASS FIBER CONTAINERS FOR USE IN THE CONSTRUCTION

### Abstract

In this study we evaluated the mechanical properties and water absorption of thermosetting matrix composites containing as dispersed phase sisal fibers and glass produced by the hand lay-up process. For both tensile tests were done, longitudinal and transverse, and water absorption according to standards ISO 527 and ASTM D570-98 respectively. What motivated the development of this project was the possibility of replacing the glass fiber for natural fiber in the production of plates used in the manufacture of containers for construction. The results showed that both composite materials were characteristic of brittle fracture, and these are isotropic. Also showed that the mechanical properties obtained with the glass fiber composite are higher than those obtained with the sisal fiber composite of the same volume fraction and samples containing the sisal fiber absorbed a quantity of water higher than the samples containing glass fiber.

**Key words:** Composites; Natural fiber; Mechanical properties.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba, Faculdade de Tecnologia, Senai, Cimatec-DR, Bahia, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Mecânica, Aluna de pós-graduação Faculdade Salvador (Unifacs), Brasil.

<sup>4</sup> Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Professora, Faculdade de Tecnologia, Senai, Cimatec-DR/BA, Bahia, Brasil.

<sup>5</sup> Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia, Senai, Cimatec-DR, Bahia, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento dos custos dos polímeros associado aos aspectos ambientais relacionados ao uso de materiais renováveis fez ressurgir, nos últimos anos, o desenvolvimento de produtos tecnologicamente mais avançados fazendo uso de políticas ditas ecologicamente corretas como o uso racional dos recursos naturais principalmente de baixo impacto ambiental.<sup>(1)</sup> Neste contexto, uma grande área de pesquisa e desenvolvimento é a produção de matéria-prima a partir de fontes renováveis como os polímeros naturais, ou a substituição parcial de materiais sintéticos, como os polímeros, combinados com outros originários de fontes renováveis, por exemplo, utilizando reforço ou carga de origem lignocelulósica.<sup>(2)</sup>

Em geral as cargas lignocelulósicas podem ser classificadas em duas categorias: particuladas e fibrosas. As cargas fibrosas têm apresentado inúmeras vantagens, em se tratando de desenvolvimento de compósitos com foco em aplicação estrutural, visto que estas apresentam elevada razão de aspecto o que proporciona eficiente transferência de tensão da matriz para estas promovendo melhoria nas propriedades mecânicas desta matriz. Além disso, apresenta vantagens na redução da densidade e custo final dos produtos. Estas fibras geralmente são extraídas de plantas muito abundantes em determinadas regiões do país, e frequentemente a partir de resíduos industriais ou urbanos, e são geralmente menos abrasivo para o equipamento de processamento do que cargas inorgânicas.<sup>(3-9)</sup>

As propriedades mecânicas obtidas pelos compósitos com estas fibras são comparáveis aos confeccionados com fibras de vidro. Dentre as fibras naturais as que têm atraído atenção especial são: o sisal, a juta, a linho, o cânhamo, a banana e o coco. Os primeiros estudos de investigação sobre compósitos reforçados por fibras naturais têm sido focado em compósitos de matriz termorrígida, porém já é grande o uso destes em matriz termoplástica.<sup>(10-12)</sup>

Além do citado acima, o uso de fibras lignocelulósicas, em particular as fibras de sisal, apresentam vantagens em termos sócio-econômicos e ambientais: biodegradabilidade, menor consumo de energia e menores custos. No caso do trabalho em questão, outro fator de elevada relevância é que o sisal é a principal fibra natural dura produzida no mundo, correspondendo a aproximadamente 70% da produção comercial de todas as fibras desse tipo. O Brasil é o maior produtor/exportador de fibras e manufaturados de sisal, com 58% da produção mundial, rendendo 80 milhões de dólares/ano de divisas. A produção anual atual é de 140 mil ton. O seu cultivo ocorre nos Estados da região Nordeste, sendo a Bahia o maior produtor nacional, empregando cerca de 600 mil pessoas. A cultura é de fundamental importância na economia nordestina porque torna produtivas regiões semi-áridas, sem alternativas econômicas com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), sendo fator de sobrevivência, pois emprega grande volume de mão-de-obra, contribuindo para fixar o homem no campo. Sua cadeia de serviços começa com as atividades de manutenção das lavouras, colheita, desfibramento e beneficiamento da fibra e termina com a industrialização (fiação, tecelagem, encordoamento) e a confecção de artesanato.<sup>(13)</sup>

Diante disso o objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento de compósitos com matriz termorrígida tendo como fase dispersa fibra de sisal e comparar as propriedades mecânicas e de absorção de água destes com os compósitos contendo como fase dispersa a fibra de vidro e avaliar a possibilidade de substituir a fibra de vidro pela de sisal na produção de placas aplicadas em isolamentos térmico-acústicos de containers ambientais usados na construção civil.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Neste trabalho foi utilizado como matriz uma resina tipo poliéster insaturado fornecida pela empresa Centerglass Resinas Ltda, esta resina foi diluída em Monômero de Estireno na proporção 1,3:1. As fibras de sisal apresentaram um comprimento de aproximadamente 3 mm e densidade de 1,26 g/cm<sup>3</sup>, fornecidas pela Faculdade de Tecnologia de Senai/ Cimatec. As fibras de vidro usadas tiveram um comprimento semelhante às fibras de sisal e a densidade de 2,6 g/cm<sup>3</sup> a mesma teve como fornecedor a Empresa Centerglass Resinas Ltda. Em virtude das fibras de sisal serem muito higroscópicas, as mesmas foram secas a 100 ± 5°C por um período de quatro horas numa estufa com circulação forçada de ar. Estas fibras foram utilizadas imediatamente após secagem. No caso de não utilização imediata, as fibras foram acondicionadas em sacos plásticos e fechadas de forma a minimizar a absorção de umidade do ambiente.

### 2.2 Métodos

Os compósitos foram produzidos pelo processo hand lay up, onde foi feita a laminação manualmente das fibras curtas (20%) com a resina (78%) e o catalisador (2%), em um molde liso e de dimensões 0,35 m x 0,35 m com aproximadamente 1 mm espessura. A cura das placas foi feita em ambiente aberto e temperatura ambiente em um período de tempo total, entre produção e cura, foi de aproximadamente 15 minutos. Em seguida estes compósitos foram cortados em placas de dimensões 100 mm X 100 mm e caracterizados quanto à suscetibilidade de absorção de água e propriedades mecânicas no sentido vertical e horizontal. O teste de absorção de água foi realizado de acordo com norma.<sup>(14)</sup> As amostras foram secas em estufa por um período de 8 horas e posteriormente acondicionadas ao ar na temperatura ambiente e umidade relativa de 50% e sua massa (peso seco,  $W_0$ ) foi determinada antes da imersão na água. A variação da massa das amostras, devido à absorção da água foi periodicamente medida (peso úmido,  $W_w$ ), por um período de 1.500 horas, e a porcentagem de ganho de massa, dado por  $W_G$ , calculada pela Equação 1.

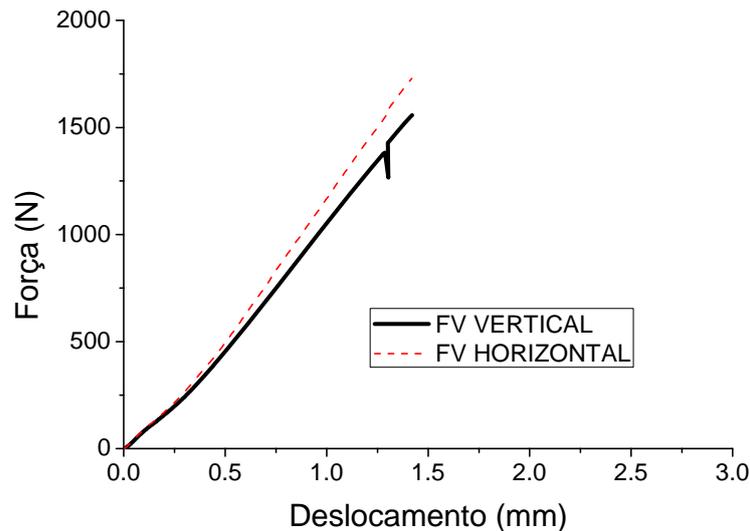
$$W_G = \frac{W_w - W_0}{W_0} * 100\% \quad (1)$$

As propriedades mecânicas foram medidas pelo ensaio de tração uniaxial em máquina universal de ensaio atuando com uma velocidade de 5 mm/min, seguindo a norma ISO 572-5-1997.<sup>(15)</sup> Para avaliar a adesão fibra/matriz foi feita a caracterização das superfícies fraturadas dos compósitos por meio de microscopia eletrônico de varredura – MEV.

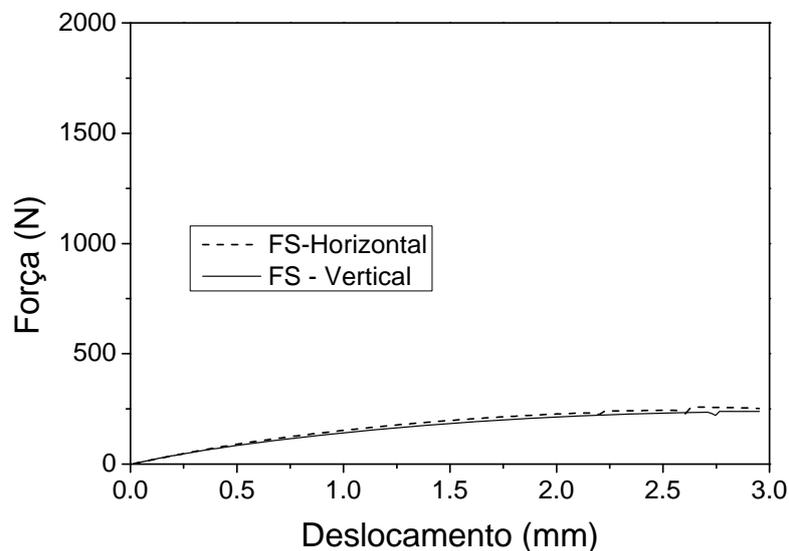
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1 e 2 mostram as curvas força versus deslocamento (sentido vertical e horizontal) para os corpos de prova dos compósitos contendo fibra de vidro e fibra de sisal, respectivamente. Observa-se que se trata de compósitos com característica de materiais resistentes, porém apresentam fratura frágil, visto que não se tem

região elástica significativa, isso está de acordo com a literatura.<sup>(16)</sup> Estudos anteriores<sup>(16,17)</sup> mostram que o comportamento mecânico dos compósitos com fibras curtas depende do tipo de fibra, da matriz, do comprimento das fibras, da orientação da fibra, da concentração de fibras e da ligação entre a fibra e a matriz. Como os compostos aqui apresentados foram preparados pelo processo *hand lay up*, deixando as fibras aleatórias. Assim pelas figuras, fica evidente que o comportamento mecânico destes materiais, quando submetidos a tensões normais de tração, trata-se de um material isotrópico. Isso é, as propriedades apresentadas independem do sentido que a força foi aplicada.



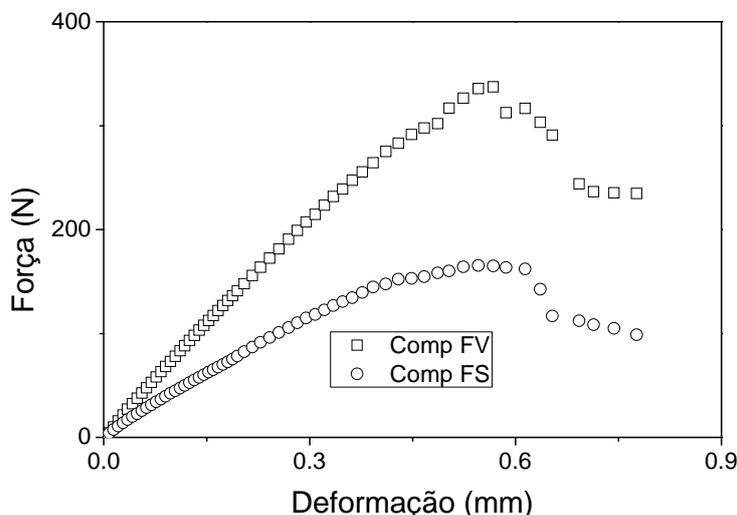
**Figura 1.** Curva Força versus Deslocamento para corpo de prova: fibra de vidro com corte horizontal e vertical.



**Figura 2.** Curva Força versus Deslocamento para corpo de prova: fibra de sisal com corte horizontal e vertical.

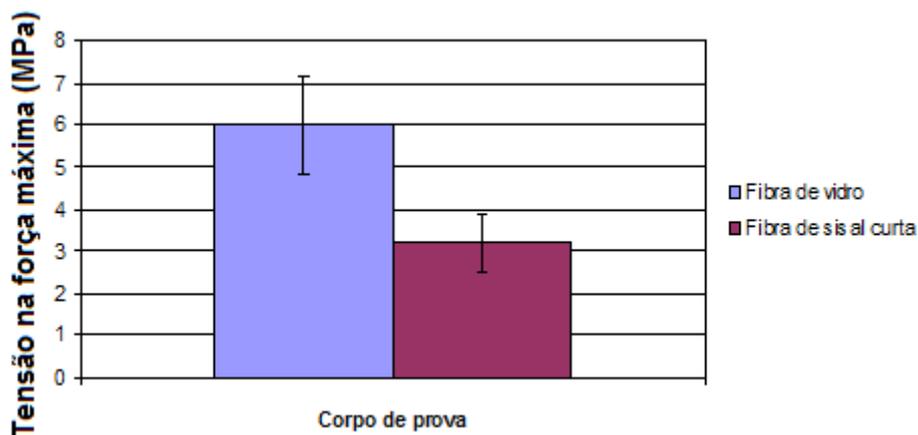
Após confirmação das características de isotropia os resultados a seguir mostram resultados de compósitos de corpos de prova retirados de forma aleatória da placa. A Figura 3 mostra a curva Força versus Deslocamento dos compósitos de resina poliéster com fibra de vidro (Comp – FV) e com fibra de sisal (Comp – FS) contendo a mesma fração volumétrica e ambos produzidos pelo processo de *hand lay-up*.

Verifica-se por esta figura que ambos compósitos apresentam fratura frágil, onde não se tem deformação plástica significativa e também que há uma superioridade das propriedades obtidas sob tração para os compósitos contendo fibra de vidro como fase dispersa.<sup>(1-9)</sup>

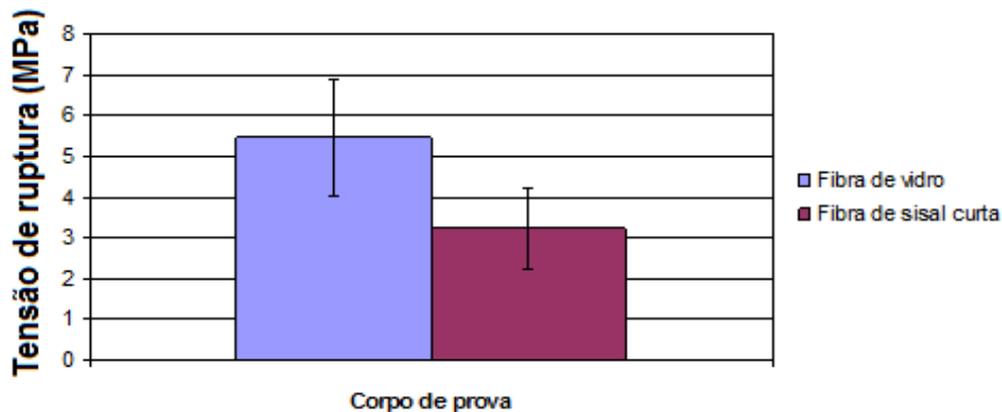


**Figura 3.** Curva tensão versus Deformação para corpo de prova dos compósitos com fibra de vidro (Comp VF) e fibra de sisal (Comp FS) com mesma fração volumétrica retirada aleatoriamente da placa confeccionada por *hand lay-up*.

Como dito anteriormente as propriedades dos compósitos são fortemente influenciadas por uma série de fatores, dentre eles está o tipo de fibra.<sup>(17,18)</sup> Daí as Figuras 4 e 5 mostram a relação entre os valores de tensão na força máxima e tensão de ruptura para os compósitos com diferentes tipos de fibras. Através destas figuras observa-se a superioridade destas propriedades (em torno de 78%) para os compósitos contendo como fase dispersa a fibra de vidro curtas. Tal fato já pode ser observado nos ensaios anteriores, sendo assim assegura-se mais uma vez essa superioridade.<sup>(17-23)</sup>

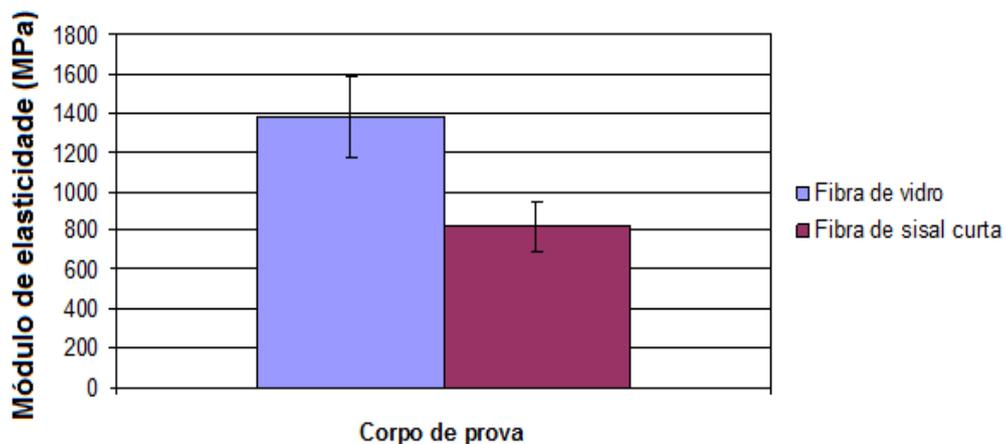


**Figura 4.** Tensão na força máxima (MPa) de compósitos com matriz termorrígida contendo como fase dispersa fibra de vidro e fibra de sisal.



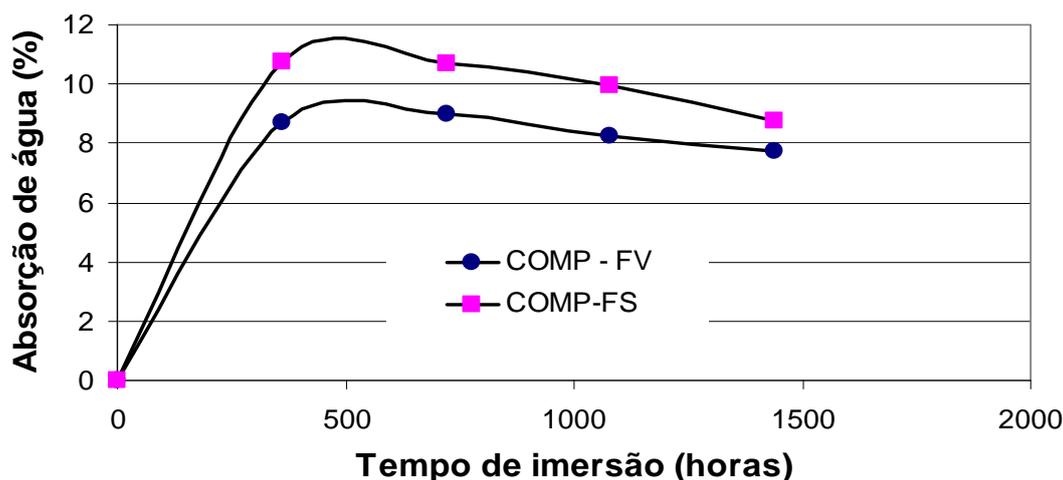
**Figura 5.** Tensão de ruptura (MPa) de compósitos com matriz termorrígida contendo como fase dispersa fibra de vidro e fibra de sisal.

A Figura 6 mostra a relação entre os valores de módulo de elasticidade sob tração para os compósitos. Conforme já discorrido, sabe-se que o módulo representa a dificuldade que o material tem de se deformar e que a fibra de vidro apresenta uma rigidez muito maior que a fibra de sisal o que também fica evidenciado nesta figura, onde se tem um módulo elástico para compósitos contendo fibra de vidro em torno de 68% maior que os compósitos com fibra de sisal. Mais uma vez os resultados obtidos já haviam sido observados nos resultados anteriores, o que ratifica os mesmos.<sup>(15,16,19,21,22)</sup>



**Figura 6.** Módulo de elasticidade (MPa) de compósitos com matriz termorrígida contendo como fase dispersa fibra de vidro e fibra de sisal.

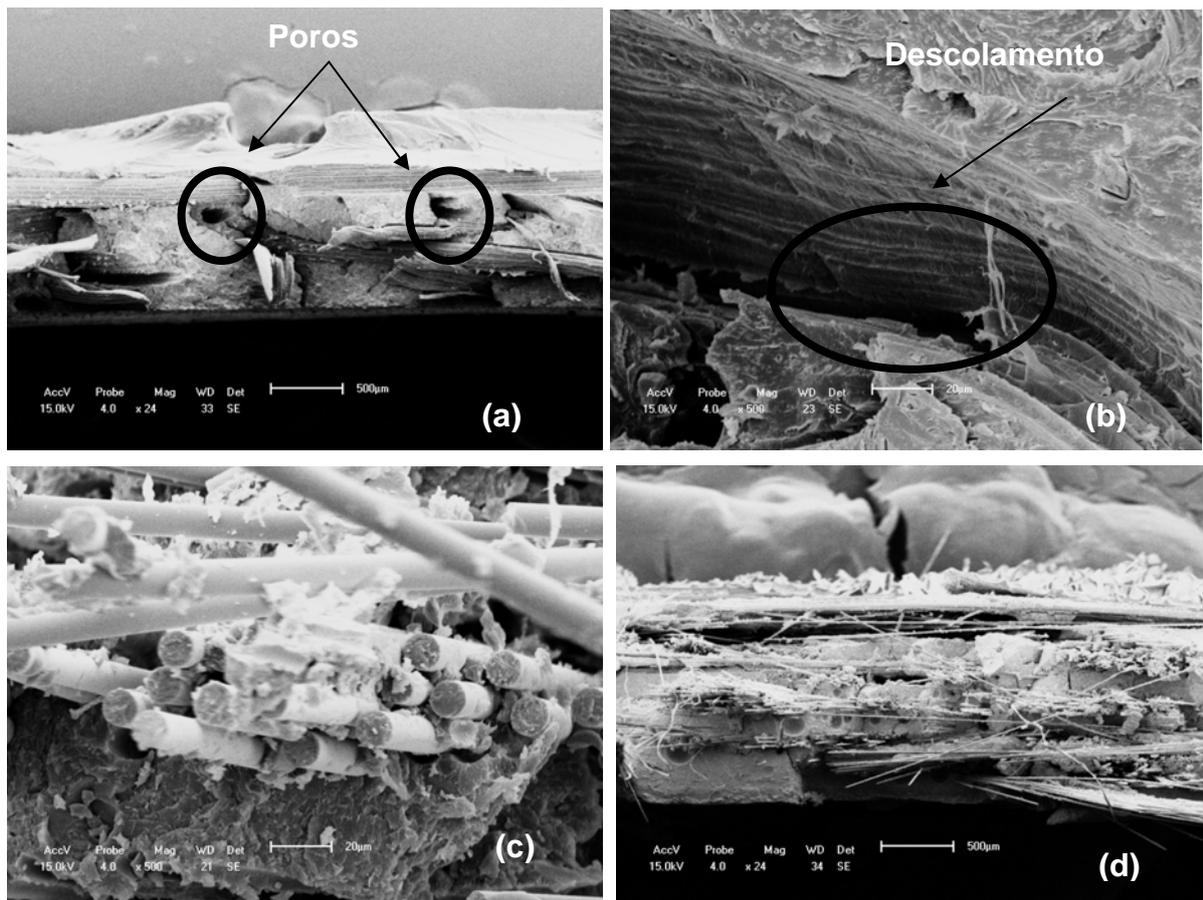
Fibras lignocelulósicas podem absorver grande quantidade de umidade atingindo níveis tão elevados como 10% em peso e, mesmo quando estas fibras estão envolvidas por um polímero, absorvem uma quantidade considerável de água.<sup>(20,21)</sup> Esse efeito está mostrado na Figura 7 onde se apresenta a porcentagem de água absorvida pelos compósitos contendo fibra de sisal e fibra de vidro. Observa-se um aumento na absorção de água com o tempo para todas as composições e fica evidente também que formulações contendo fibra de sisal apresentam aumento consideravelmente maior na absorção de água que aquelas contendo fibra de vidro. Isso se deve ao caráter hidrofílico das fibras de sisal, visto que estas fibras contém na sua estrutura grande número de hidroxilas (-OH), bem como outros grupos contendo oxigênio (éster, carbonila e outros) os quais atraem a umidade formando pontes de hidrogênio.<sup>(10,12,19-22, 24)</sup>



**Figura 7.** Taxa de absorção de água (%) de compósitos com matriz termorrígida contendo como fase dispersa fibra de vidro e fibra de sisal.

As micrografias da Figura 8 apresentam a morfologia da superfície de fratura dos compósitos com fibras de sisal e fibra de vidro contendo mesma fração volumétrica. É possível verificar que as amostras contendo fibra de sisal (Figuras 8a e 8b) apresentam uma boa dispersão, porém tem-se a presença de muitos poros (vazios) e um descolamento entre a fibra e a matriz facilmente desenvolvido mostrando uma baixa adesão entre estas. Estes fato vêm influenciar de forma negativa nas propriedades mecânicas, bem como promoção no aumento da absorção de água<sup>(17-19)</sup> visto que o bom ancoramento mecânico fornece um meio simples e eficaz de melhoria na adesão entre materiais diferentes e uma maior área de contacto entre as duas fases podem produzir uma maior força de bloqueio mecânico dificultando ainda a difusão de moléculas menores, como é o caso das partículas de água entre estes.

Enquanto que as composições contendo fibra de vidro (Figuras 8c e 8d) nota-se uma baixa dispersão mostrando grande aglomerado de fibras. Observam-se ainda fibras com superfícies limpas, sem vestígios de matriz aderidos sobre as mesmas, e descolamento dessas (*pull out*). Geralmente, *pull out* da fibra e delaminação são as características principais do fracasso em compósitos tendo como fase dispersa este tipo de fibras.<sup>(19,22)</sup> Diante disso pode-se verificar a necessidade de melhora no processamento, bem como incorporação de um agente de acoplamento.



**Figura 8.** Micrografias da superfície de fratura do compósito com fibras de sisal (a e b) e (c e d) com fibras de vidro com mesma fração volumétrica.

#### 4 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho Pode-se concluir:

- Tanto os compósitos com fase dispersa fibra de vidro quanto fibra de sisal mostraram características de materiais com fratura frágil e que estes são isotrópicos apresentando as mesmas propriedades em qualquer direção de aplicação da carga;
- Os resultados das propriedades mecânicas dos compósitos com fibra de vidro são superiores àquelas obtidas com fibra de sisal;
- a absorção de água é significativamente menor nos compósitos contendo fibra de vidro como fase dispersa; e
- Ainda se acredita que o uso da fibra de sisal é de extrema relevância, visto que se trata do uso de uma fibra natural proveniente de fonte renovável e que o Estado da Bahia é o maior e melhor produtor de sisal do mundo. Sendo assim, o uso desta fibra em aplicações de alto valor agregado, como é o objetivo destes compósitos, irá alavancar muitos empregos às famílias menos favorecidas localizadas no interior do estado.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade do Salvador e à Faculdade de tecnologia Senai/Cimatec pela disponibilização dos recursos humanos e laboratoriais.

## REFERÊNCIAS

- 1 OKADA, M. Chemical syntheses of biodegradable polymers. *Progress in Polymer Science*, v. 27, n. 1. p. 88-133, 2002.
- 2 ZANIN, M., DESIDERÁ, C., LOGAREZZI, A., CORREA, C.A. Sistematização da extensão do uso de resíduos de serrarias e potencialidade de aplicação. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, CDROM, 2002.
- 3 GENG, Y, LI, K.C, SIMONSEN, J. A combination of poly (diphenylmethane diisocyanate) and stearic anhydride as a novel compatibilizer for woodpolyethylene composites. *J Adhes Sci Technol*, 19:987, 2005;
- 4 MANSOUR, S.H, ASAAD, J.N, I. KANDER, B.A, TAWFIK, S.Y. Influence of some additives on the performance of wood flour/polyolefin composites. *J Appl Polym Sci*;109:2243, 2008
- 5 MISHRA, S. VERMA, J. Effect of compatibilizers on water absorption kinetics of polypropylene/wood flour foamed composites. *J Appl Polym Sci*, v101:2530. 2006
- 6 STECKEL, V. CLEMONS, C. M THOEMEN, H. Effects of material parameters on the diffusion and sorption properties of wood-flour/polypropylene composites. *J Appl Polym Sci*, p 103:752, 2007.
- 7 YE, S.K. GUPTA, R.K. Improved wood-plastic composites through better processing. *Composites Part A*, v. 39, 2008.
- 8 NAJAFI, S. K, KIAEFAR, A. TAJVIDI, M. Effect of bark flour content on the hygroscopic characteristics of wood-polypropylene composites. *J Appl Polym Sci* 2009;110:3116.
- 9 KIM, J. W. HARPER, D. P. TAYLOR, A. M. Effect of extractives on water sorption and durability of wood-plastic composites. *Wood Fiber Sci* 2009;41:279.
- 10 JOSEPH, K. THOMAS, S. e PAVITHRAN, C., Effect of chemical treatment on tensile properties of short sisal fiber reinforced polyethylene composites. *Polymer*, 37, 5139 (1996).
- 11 BLEDZKI, A. K. & GASSAN, J. *Progress in Polymer Science*, Oxford, 24, p.221, 1999.
- 12 Li, R.Z. Environmental degradation of wood-HDPE composite. *Polymer Degradation and Stability*, v.70, p. 135-145, 2000.
- 13 BRAZILIAN FIBRES,. Fibra de sisal desponta como opção ecológica. Disponível em: <<http://www.brazilianfibres.com.br/?p=726>>. Acesso em: 06 out. 2010.
- 14 ASTM D570-98(2005) Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.
- 15 ISO 572-5-1997 Plastics - Determination of tensile properties -- Part 5: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites.
- 16 SILVA, R. V. Compósito de resina de poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras vegetais. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação da Universidade Federal de São Carlos, 2003.
- 17 HYER, M. W. Stress analysis of fiber-reinforced composite materials. Boston: WCB McGraw Hill, 1998.
- 18 LEVY NETO, F; PARDINI, L.C. Compósitos estruturais: ciência e tecnologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- 19 SANGTHONG, S. PONGPRAYOON, T. YANUMET, N. Mechanical property improvement of unsaturated polyester composite reinforced with admicellar-treated sisal fibers. *Composites: Part A*, v. 40, p 687-694, 2009.
- ZHONG, L. X., FU, S. Y., ZHOU, X. S., ZHAN, H. Y., Effect of surface microfibrillation of sisal fibre on the mechanical properties of sisal/aramid fibre hybrid composites. *Composites: Part A*, v. 42, p 244-252, 2011.
- 20 SANTOS, Z. I. G; UEKI, M. M; CHAVEZ, M. A; MATOS, G. S. Influência da presença de aditivos à base de silicone e teflon na absorção de água de compósitos de polipropileno com partículas de madeira. In: 19<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, CBCimat, Campos do Jordão, São Paulo, 2010.

- 21 BLEDZKIA, A.K. LETMANA, M. VIKSNEB, A. RENCE L. A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre—PP composites. *Composites: Part A*. v. 36, p. 789–797, 2005.
- 22 NORMA E. MARCOVICH, MARI´A M. REBOREDO, MIRTA I. ARANGUREN. Dependence of the Mechanical Properties of Woodflour–Polymer Composites on the Moisture Content. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 68, p.2069–2076, 1998
- 23 MUNDER, F. FULL, C. and HEMPEL, H. Processing of bast fiber plants for industrial application, in *Natural Fiber, Biopolymers, and Biocomposites* CRC/Taylor & francis, Boca Raton, FL, pp. 109-140, 2005.
- 24 HAMEED, N. SREEKUMAR, P.A. FRANCIS, B. YANG, W. S. Morphology, dynamic mechanical and thermal studies on poly(styrene-co-acrylonitrile on) modified epoxy resin/glass fiber composites. *Composites: Part A*, v. 38, p. 2422–2432, 2007.