

INTERFERÊNCIA DA LAVAGEM DE FIBRAS SOBRE O DESEMPENHO DO SIZING NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM COMPÓSITOS HÍBRIDOS VIDRO/SISAL

Cristiane Aurelia Borges Vieira¹, Nilcéa Mares da Luz Mondadore¹, Estevão Freire¹, Sandro Campos Amico², Ademir José Zattera^{1*}

1. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, RS, Brazil.

Correo electrónico: ajzatter@ucs.br

2. Escola de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brazil.

Recibido: Septiembre 2008; Revisado: ; Aceptado: Mayo 2009

RESUMEN

La utilización de compuestos de fibras híbridas, como el del vidrio y sisal, es vantajosa, pues permite proyectar materiales como desempeño mecánico de acuerdo con las necesidades deseadas. Sobre la fibra de vidrio industrial generalmente es aplicado el *sizing*, una substancia que actua como agente de enlace entre la superficie de la fibra y la matriz. El objetivo de este trabajo es analizar la interferencia del lavado de la fibra de vidrio, utilizando agua destilada y etanol, sobre el *sizing*. El desempeño de las fibras fue evaluado a través de los compuestos confeccionados con resina poliéster ortoftálica reforzada por 25% de refuerzo en la forma de mantas. Los refuerzos fueron confeccionados en métodos de vía seca y húmeda y tuvo variaciones de 0,25, 50, 75 y 100% en la concentración de fibra de vidrio. Los análisis realizados para evaluar la interacción líquido-*sizing* fueron absorción de agua, resistencia a la tracción, resistencia al impacto y microscopía electrónica de barrido. También fueron considerados algunos detalles en el procesamiento de las mantas. Se concluye que la inmersión de la fibra de vidrio en agua y etanol puede interferir o hasta mismo remover parte del *sizing* pre-aplicado a la fibra. La resistencia mecánica (tracción e impacto) de los compuestos disminuyó con la remoción del *sizing*.

Palabras clave: compuestos híbridos, *sizing*, fibra de vidrio, fibra de sisal, resina poliéster.

ABSTRACT

The use of hybrid composites, using sisal and fiberglass, is interesting, for it permits to design to materials with mechanical performance according to the desired necessities. Usually its used the *sizing* on industrial fiberglass, that is a substance which acts a linking agents between the surface of fiber and the matrix. The aim of this work was to analyse the interference of the fiber washing, using distilled water and ethanol, on *sizing*. The fibers performance was evaluated through the composites made with polyester ortoftalic resin reinforced with 25% of reinforcement in shape of mat. The reinforcements were made in methods of humid and dried ways and had variations of 0.25, 50, 75 and 100% in fiber glass content. The analysis made to evaluate the liquid-*sizing* interactions were: water absorption, tensile strength, notched Izod impact strength, scanning electron micrographs (SEM). The analysis through MEV showed that fiber glass immersion in water and ethanol removed part of *sizing* of industrial fiber. The *sizing* removal affected the mechanical properties of the composites, generating a decrease of tensile strength and notched Izod impact strength.

Key words: hybrids composites, *sizing*, glass fiber, sisal fiber, polyester.

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, o uso de compósitos de fibras naturais tem despertado grande interesse em diversas aplicações [1-2]. Propriedades como baixa densidade, custo atrativo, biodegradabilidade, além da proveniência de fontes renováveis [3-4] são os itens relevantes na escolha destes materiais como reforço.

A possibilidade de mistura de reforços (compósitos híbridos) é vantajosa, pois permite

projetar mantas específicas com desempenho mecânico de acordo com as necessidades do produto. Os benefícios da substituição de fibras sintéticas por naturais, mesmo que parcialmente, são principalmente ecológicos, pois parte do reforço natural é reciclável (reciclagem térmica), biodegradável e menos densa que as fibras de vidro [5], fato que pode significar uma redução no consumo de combustível em aplicações de transporte terrestre. A utilização de fibras vegetais, materiais abundantes no Brasil, é vantajosa também do ponto de vista econômico e social.

Porém, as propriedades mecânicas de polímeros reforçados por fibras não dependem unicamente das características intrínsecas da matriz e das fibras, mas também da natureza da interface fibra-matriz. Esta interface deve assegurar a eficiente transferência de esforço mecânico da matriz para o reforço. O problema inerente no compósito é, portanto, a interface fibra-matriz que é o elo crucial que sustenta a integridade estrutural destes materiais [6]. De modo a aumentar a molhabilidade da fibra ou melhorar a afinidade entre fibra e matriz, a modificação superficial da fibra pode ser concluída pelo revestimento da fibra.

A superfície da fibra de vidro é comumente modificada por *sizings* (substâncias aplicadas à fibra de vidro durante a manufatura deste), que consistem dos seguintes principais componentes: 80-90 p/p% de formador de filme (como uma dispersão aquosa); 5-10 p/p% agente de acoplamento da classe dos silanos (usado para promover a adesão fibra-matriz); 5-10 p/p% de agentes auxiliares (lubrificantes, agentes antiestáticos, agente de molhamento). A massa total do *sizing* aplicado a fibra de vidro situa-se na faixa de 0,2 a 2% do peso da fibra, podendo ser considerada mais que uma camada monomolecular [6]. Estes constituintes são compatíveis e podem interagir entre si ou com a matriz [7].

A variação na força de adesão da interface fibra-matriz afeta em alto grau as propriedades mecânicas dos materiais compósitos. De outra forma, a adesão depende intensamente das características químicas e moleculares, composição atômica e natureza topográfica das camadas superficiais da fibra, a qual é fortemente influenciada pela modificação da superfície das fibras (*sizing*).

Interações físicas entre polímeros e fibras estão sempre presentes na interface. Entretanto, sua contribuição relativa para a adesão entre duas fases depende da existência de interações fortes como interações ácido-base e/ou ligações. Interações adesivas podem ser realizadas somente se um contato íntimo entre as duas fases é alcançado. Isso é parcialmente dependente de condições de processamento que envolvem o fluxo de resina de diferentes viscosidades em fibras que podem ser arranjadas de várias formas. Em adição ao processamento e parâmetros estruturais, a análise das forças de capilaridade presentes nesta parte do compósito durante a impregnação da fibra mostra que a impregnação espontânea é aumentada por um pequeno ângulo de contato. Após a formação

completa do compósito, a qualidade da interação interfacial é fortemente dependente do contato de adesão e a presença de imperfeições na interface [8].

Para uma dada resina, a formulação do *sizing* das fibras de vidro domina a interação adesiva, considerando que defeitos podem ser introduzidos, em parte, por absorção de umidade do ar dependendo das condições de estocagem após a formação do compósito. Entretanto, informações nos efeitos de umidade ambiente absorvida devido as diferentes condições de armazenamento de fibra de vidro são fortemente avaliados na literatura. Um exemplo é *Schutte* [9] que estruturou a estrutura química do silano sob diferentes condições ambientais que foram responsáveis pelas propriedades de adesão resultantes.

As moléculas de água absorvida hidrolisam as ligações de siloxano do vidro por absorção do átomo de oxigênio e então decompõe ligação Si-O [10]. A durabilidade das fibras de vidro decai devido aos defeitos gerados pela água acelerando o processo de envelhecimento das mesmas.

A avaliação das mantas hibridas desenvolvidas será realizada através da análise do desempenho e caracterização dos compósitos processados contendo fibras de vidro e sisal. Este trabalho visa avaliar a influência da água destilada e etanol sobre o *sizing* da fibra de vidro através de propriedades mecânicas, absorção de água e análise morfológica dos compósitos.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Materiais. Fibras de sisal oriundas da empresa *Sisalândia Fios Naturais Ltda*, na forma de fio multifibrilar torcido (“yarn”). Fibras de vidro fornecidas na forma de bobina de fios (“rowing”) pela empresa *Vetrotex* (Código: EC 2400 P207). Resina poliéster ortoftálica, da empresa *Elekeiroz S.A* (Código: UC 2090). O iniciador utilizado para a resina foi o P-MEK (peróxido de metil-etyl-cetona) fornecido pela mesma empresa da respectiva resina.

2.2. Preparação das fibras e mantas. As fibras de sisal foram cortadas em 3 cm de comprimento. As fibras de sisal foram lavadas em água destilada por 30 minutos, divididos em 10 minutos (1° lavagem) mais 20 min. (2° lavagem), como realizado por *Vieira et al.* [11]. A relação água/fibra para a lavagem foi de 100 mL de água destilada para cada 1 g de fibra de sisal. Em seguida, foram secas em estufa com ventilação forçada por 180 minutos. As fibras de vidro foram também cortadas em 3 cm e utilizadas com o tratamento industrial, com exceção do método Manual-lav onde as fibras de vidro foram lavadas.

Foram utilizados diferentes métodos para a confecção das mantas como segue na Tabela 1, e em todos os métodos foi realizada pré-mistura das fibras de sisal e vidro.

Tabela 1. Métodos de confecção de mantas

Método	Descrição
Manual	Deposição manual de fibras
Manual-lav	Deposição manual de fibras – Fibra de vidro lavada
Água	Deposição de fibras em fase líquida – Água destilada
Etanol	Deposição de fibras em fase líquida – Etanol

Para a composição do compósito, a fração volumétrica total de reforço (manta) foi fixada em 25% do compósito. Este volume foi distribuído entre as fibras de vidro e de sisal, seguindo 5 composições diferentes, a saber:

- a) 1,00 de fibra de vidro e 0,00 de fibra de sisal;
- b) 0,75 de fibra de vidro e 0,25 de fibra de sisal;
- c) 0,50 de fibra de vidro e 0,50 de fibra de sisal;
- d) 0,25 de fibra de vidro e 0,75 de fibra de sisal;
- e) 0,00 de fibra de vidro e 1,00 de fibra de sisal.

2.3. Método Manual. A mistura de fibras foi disposta manual e aleatoriamente buscando-se cobrir homogeneamente a área do molde com auxílio de um aparador de fibras. As fibras foram então comprimidas à 2 MPa de pressão, por 20 min, na temperatura do processamento do compósito (60°C), formando-se assim a manta pronta para uso como reforço.

2.4. Método Manual-lav. É efetuado da mesma forma que no método Manual, porém são utilizadas fibras de vidro previamente lavadas em água destilada e secas conforme as fibras de sisal.

2.5. Método Água. Realizada a pré-mistura das fibras de vidro e sisal, estas foram imersas em água destilada, emersas e secas em estufa com circulação de ar a 60°C, por 180 min. Secas, as mantas foram comprimidas por 20 min, a 2 MPa de pressão, em temperatura de processamento do compósito (60°C).

2.6. Método Etanol. É realizado da mesma forma que no método Água, com a diferença das fibras serem imersas em etanol comercial (Marca: *Citroquímica*, Grau de pureza: 96%).

2.7. Confecção do compósito. A técnica utilizada para a conformação dos compósitos foi a moldagem por compressão a quente. O molde de aço inox foi impregnado com cera de carnaúba e polido. A cada compósito, foi utilizado um filme de PEBD (polietileno de baixa densidade) em contato com as superfícies do molde, com o intuito de inibir a adesão da resina curada com o molde e facilitar a remoção da peça.

Parte da resina líquida misturada ao iniciador foi vertida no molde inferior; sobre esta, a manta foi cuidadosamente depositada e o restante da resina foi vertido sobre a manta. Fechado, o molde foi pressionado lentamente para a acomodação da resina e expulsão de bolhas de ar do interior do compósito, até o alcance de 2 MPa de pressão. A moldagem foi conduzida à temperatura de 60°C por 95 min.

Após a cura, o compósito foi retirado rapidamente do molde, sendo resfriado em uma prensa fria até a temperatura ambiente por no máximo 15 minutos. As dimensões das placas de compósitos produzidas nesta etapa foram de 17 × 17 × 0,3 cm.

Os corpos de prova foram obtidos mediante corte das placas em serra-fita. Para a remoção de irregularidades provocadas pelo corte, foi realizado lixamento a seco em politriz, utilizando-se diferentes tipos de lixa.

2.8. Ensaios físicos. O ensaio de absorção de água é realizado conforme ASTM D570 [12]. Para este ensaio foram extraídas 6 amostras da placa-compósito com dimensões de 1,5 x 1,5 x 0,3 cm. O procedimento escolhido foi o de imersão em água à temperatura ambiente por 48 horas.

2.9. Ensaios mecânicos. Os ensaios de resistência à tração foram realizados em corpos de prova do tipo I, adaptados à norma ASTM D 3039 [13], com dimensões de 15 x 2 x 0,3 cm. Para este ensaio foi utilizada uma máquina de ensaios universal (EMIC DL 3000), com extensômetro. A velocidade de ensaio 2 mm/min. Os ensaios de resistência ao impacto Izod, sem entalhe, foram realizados em equipamento *CEAST Resil 25*, de acordo com a norma ASTM D 256 [14]. O pendulo utilizado foi de 4 J.

2.10. Microscopia eletrônica de varredura. Foram obtidas microscopias das fibras e das superfícies de compósitos, com diversas ampliações, através de equipamento da marca *Jeol*, modelo 6060. A voltagem de aceleração foi de 15 kV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Interferência da água destilada. Quanto à absorção de água nos compósitos (véase La Figura 1) é nítido o comportamento mais higroscópico da fibra de sisal em relação à fibra de vidro, como também observado por [15]. O aumento do teor de fibra de vidro no reforço diminui a absorção de água nos compósitos. Os compósitos cujo reforço é constituído apenas de fibra vegetal absorvem, em média, 15 vezes mais água que os compósitos de apenas fibra de vidro, como observado na Figura 1.

Confrontando os Métodos Manual e Manual-lav, é possível observar as diferenças de comportamento da fibra de vidro na forma comercial, ou seja, com a película de *sizing* na sua íntegra, e a fibra de vidro lavada com água destilada. Pela Figura 1, comparando estes dois métodos

(Manual e Manual-lav), conclui-se que a lavagem da fibra de vidro influênciava nos resultados de absorção de água, pois estes valores foram inferiores para os métodos que empregaram água. Observou-se que durante a fabricação da manta pelos métodos Manual-lav e Água, houve alteração da tensão superficial da fase aquosa formando espuma. Este é um indicativo que aditivos da fibra de vidro foram removidos durante o ensaio. Conclui-se, que imersão da fibra de vidro em água pode interferir ou até mesmo remover parte do *sizing* pré-aplicado a fibra como se pode concluir na Figura 2, corroborado por [6].

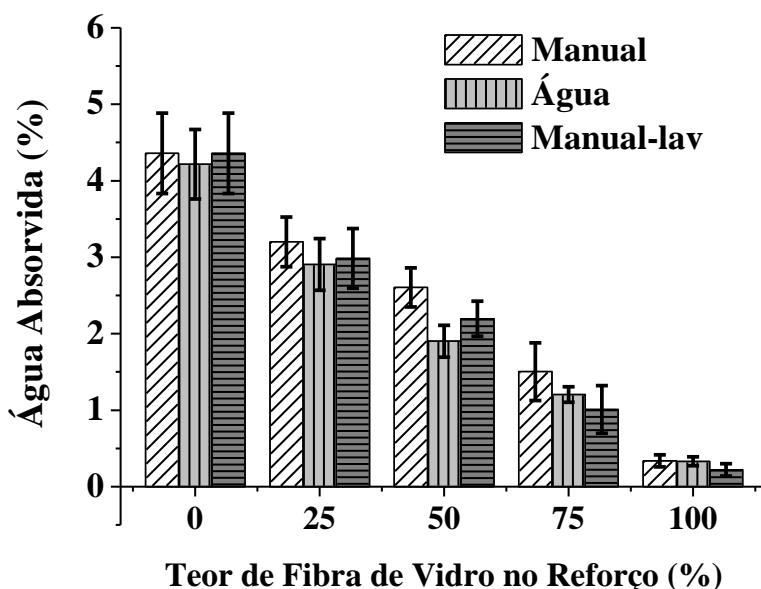


Figura 1. Absorção de água em compósitos em função do teor de fibra de vidro, considerando os 3 métodos de fabricação de reforço

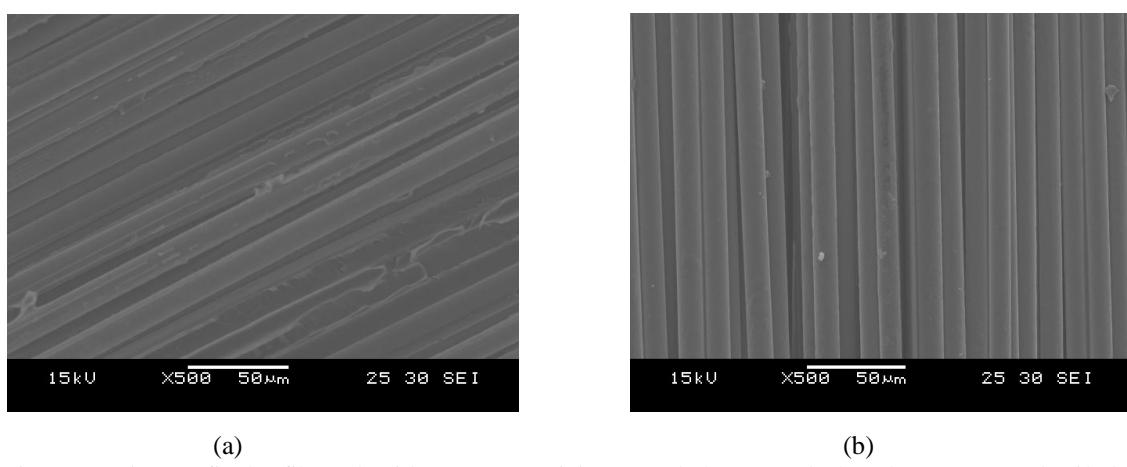


Figura 2. Micrografia das fibras de vidro (a) comerciais, antes da lavagem (b) lavadas com água destilada.

Observa-se, que os compósitos com fibra de vidro lavada absorvem menos água que os compósitos com fibra de vidro não lavada. Este fato se justifica, também, pela remoção de parte do

sizing no processo de confecção de mantas utilizando o meio aquoso. Como referido por Brown *et al* [16] o *sizing* é solúvel e meio aquoso, por consequência tende a possuir características higroscópicas. Este comportamento também é corroborado pelos resultados obtidos para absorção de água dos compósitos do método Água (Figura 1). Entretanto, na comparação dos métodos Manual e Água nota-se uma diferença mais drástica nos valores, pois no método Água a influência da água não afeta apenas o desempenho da fibra, e também o de toda a manta como um sistema.

Os resultados de resistência a tração (Figura 3) indicam que acréscimo no teor de fibra de vidro, aumenta também os valores de resistência à tração. Este fato justifica o uso de compósitos híbridos, pois a adição de fibra de vidro gerou uma melhoria nas propriedades mecânicas dos compósitos obtidos. Analisando o desempenho dos métodos pode-se observar que os métodos Manual e Manual-lav foram mais eficientes em termos de propriedades mecânicas.

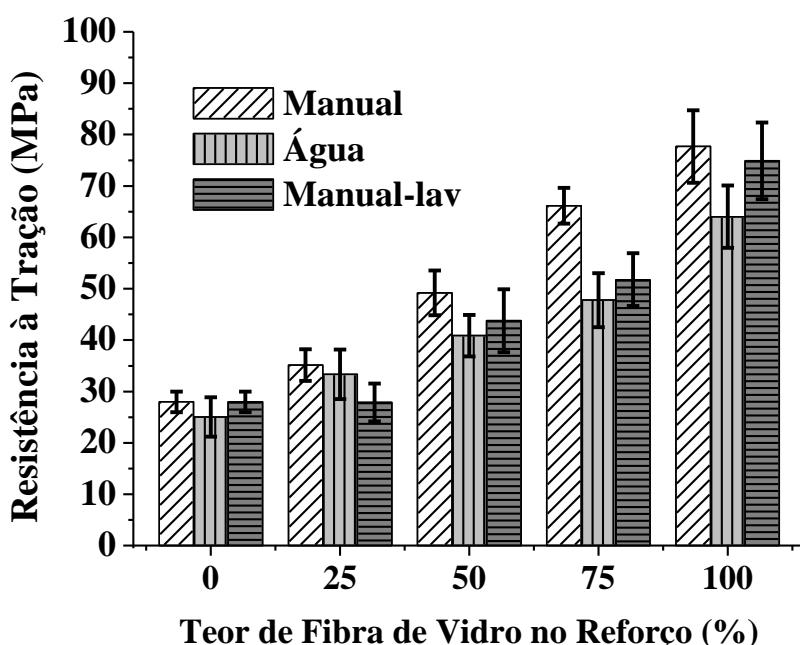


Figura 3. Resistência à tração em função do teor de fibra de vidro na manta, considerando os 3 métodos de fabricação de reforço

Uma justificativa para o desempenho inferior do método Água seria a forma final da manta confeccionada por este método como pode-se observar na Figura 4. Estas mantas (método Água), em função do próprio método, ficaram mais compactas do que as mantas confeccionadas pelos métodos Manual e Manual-lav (Figura 5). A altura média das mantas recém fabricadas foi de 1 cm para o método Água e 3 cm para os métodos Manual e Manual-lav. As mantas confeccionadas pelo método Água, contendo altos teores de fibra de vidro (75 e 100%) possuíam alturas médias inferiores a 1 cm. Acredita-se que devido a maior compactação das mantas produzidas pelo método

Água, houve dificuldade de permeação da resina pela manta durante o processamento, produzindo propriedades mecânicas inferiores.



(a)



(b)

Figura 4. Manta produzida pelo método Água (a) vista superior (b) vista lateral.



(a)



(b)

Figura 5. Manta produzidas pelo método Manual e Manual-lav (a) vista superior (b) vista lateral.

Na análise dos resultados na propriedade de resistência à tração (Figura 3), nota-se uma clara diferença entre os métodos, que é melhor evidenciada nas composições de reforço ricas em fibra de vidro. O tipo de método de fabricação de reforço utilizado não interfere significativamente em amostras com baixo teores de fibra de vidro. Os compósitos com predominância de fibra de sisal mostraram uma maior reproduzibilidade, pois os valores de desvio padrão foram menores até 50% de fibra de vidro no reforço. É possível ainda interpretar que a fibra de vidro coopera positivamente em compósitos de mantas onde predomina a fibra vegetal. Por outro lado, os compósitos contendo 75 e 100% de fibra de vidro, o sisal parece atuar como impureza, com baixo nível de reproduzibilidade. Na figura 6 observa-se a diferença de morfologia da fibra de sisal e da fibra de vidro o que gera o baixo índice de reproduzibilidade em altos teores de fibra de vidro no reforço.

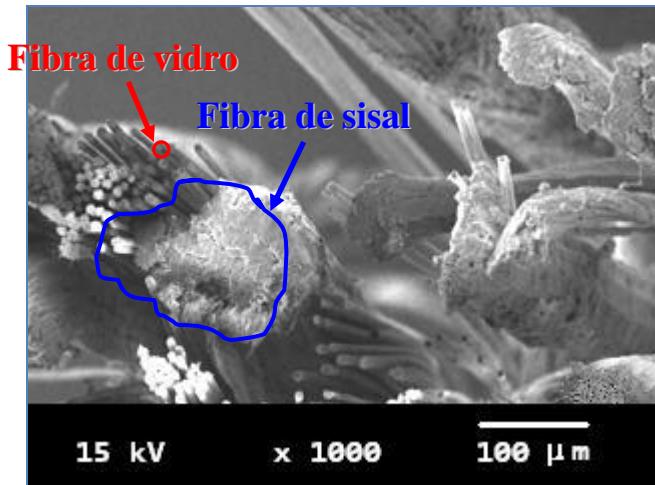


Figura 6. Micrografia da seção transversal de compósito fraturado contendo 75% de fibra de vidro no reforço.

A mesma interpretação sobre o ensaio de resistência à tração pode ser aplicada ao ensaio de resistência ao impacto (Figura 7). Considerando a adesão com a matriz superior na fibra de vidro em relação à fibra vegetal pode-se concluir que, pelo menos, parte da energia está sendo transferida da matriz à fibra durante o impacto. Se não houvesse dissipação de energia, os resultados seriam constantes e de valor próximo à resistência o impacto da resina poliéster pura [17]. Da mesma forma que foi observado anteriormente os compósitos com baixo teor de fibra de vidro (25 e 50%) se mostraram mais reproduutíveis.

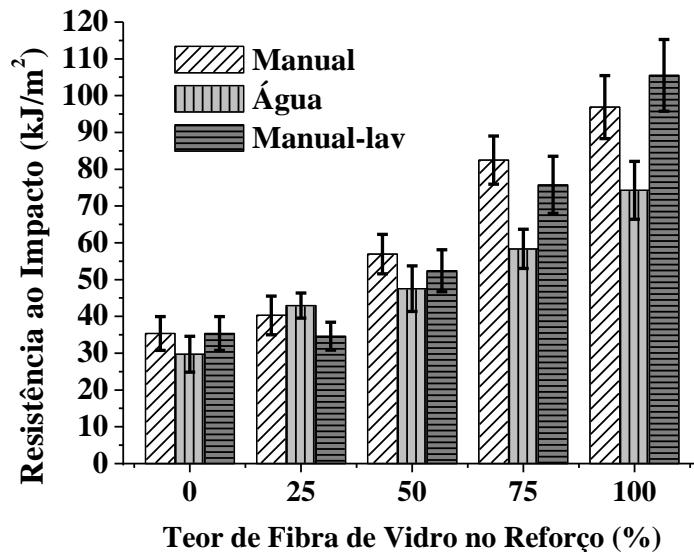


Figura 7. Resistência ao impacto em função do teor de fibra de vidro na manta, considerando os 3 métodos de fabricação de reforço.

Outro aspecto mostrado pelas Figuras 3 e 7, de resistência à tração e ao impacto e apoiado pelas Figuras 4 e 5, sobre a diferença nos resultados entre o método Água e os métodos Manual e

Manual-lav pode ser elucidado. Cabe lembrar que ocorrem dois fenômenos pertinentes na produção de mantas pelo método Água: o primeiro é a compactação das fibras verticalmente devido à pressão exercida pela água sobre a manta; e segundo, é a agrupamento das fibras de vidro em contato com o meio aquoso. Esta junção das fibras de vidro devido a pouca afinidade das mesmas a este meio líquido repercute em uma maior afinidade entre as fibras. Ou seja, num meio de pouca afinidade as fibras tendem a se juntar, assim “afastando-se” do meio. Este comportamento é similar ao fenômeno da coalescência de partículas de óleo em meio aquoso. Esta união entre as fibras, bem destacada nas fibras de vidro (que são hidrófobas em comparação as fibras vegetais) corrobora as diferenças mostradas entre os métodos mostrados nas figuras anteriores, principalmente entre os métodos para amostras de teores acima de 50% de fibra sintética onde este problema é agravado.

Como resultado, temos formações agrupadas de fibras de vidro que sofreram lavagem com água destilada (método Água e Manual-lav) não são evidenciadas na fibra ainda na forma comercial (método Manual), conforme se pode ver na Figura 8. Estes agrupamentos, na forma de feixes, dificultam a impregnação pela matriz polimérica em torno das fibras de vidro, ficando algumas fibras mais internas não recobertas pela resina. Estes feixes, dentro da matriz polimérica, prejudicam a total transferência de esforços ao contrário de como ocorre com as fibras isoladamente distribuídas. Isto acarreta em diminuição da razão de aspecto da unidade de reforço, gerando redução na transferência de esforço fibra-matriz, que responde negativamente na resistência mecânica ao impacto. Este comportamento também poderia ser esperado nas amostras que utilizaram mantas elaboradas pelo método Manual-lav já que as fibras de vidro também foram lavadas; porém, devido à pré-mistura (que é manual) e durante o próprio processo deste método o manuseamento das fibras secas faz parte das fibras de vidro se separar novamente. De acordo com esta hipótese, se explica a diferença nos resultados entre o método Manual-lav e o método Manual não ser muito significativa.

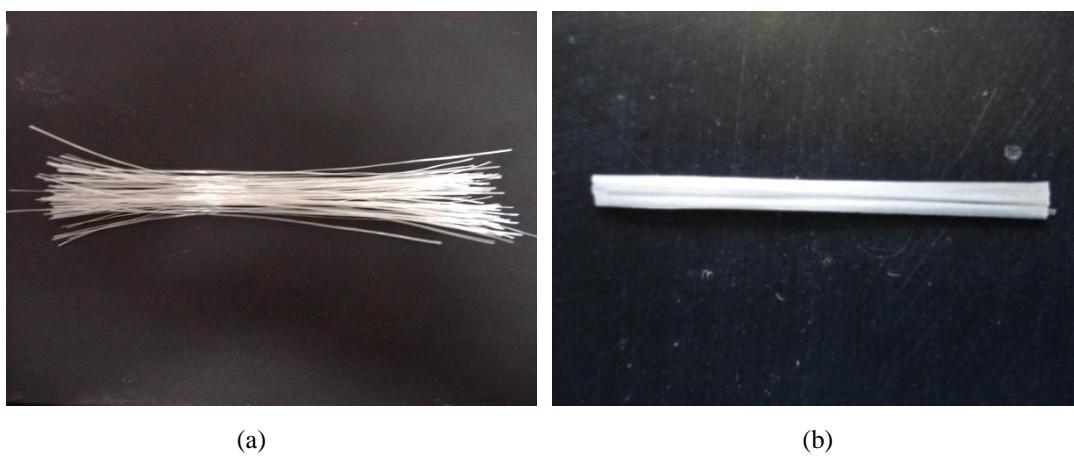


Figura 8. Fibras de vidro cortadas (a) comercial e (b) lavada em água destilada.

3.2. Interferência do etanol. A análise dos métodos explícitos até o momento mostrou que as mantas produzidas pelo método Água apresentavam problemas de dispersão das fibras de vidro, pois estas eram segregadas em relação às fibras de sisal em função de sua característica hidrofoba. Foram realizados testes com etanol devido sua polaridade e se observou que as fibras de vidro imersas neste líquido obtiveram uma boa dispersão, ou seja, separaram-se ao invés de se agruparem (Figura 9).



Figura 9. Fibras de vidro após imersão em etanol comercial.

A seguir, na Figura 10 se observa a manta produzida pelo método Etanol. Nota-se que a manta não é compacta como a manta produzida pelo método Água, porém não é tão porosa como a manta produzida pelo método Manual. Para esta etapa de ensaios, foram utilizados apenas compósitos híbridos contendo 50% de fibra de vidro no reforço, sendo o reforço 25% do total do compósito de modo apenas a comparar o comportamento da fibra de vidro frente aos dois líquidos.



Figura 10. Manta produzida pelo Método Etanol: (a) vista lateral e (b) vista superior.

Comparando-se os métodos Água e Etanol (Figuras 11 e 12), ambos de deposição de fibras em meio líquido, é possível observar que os valores para o método Etanol mantiveram-se sempre

superiores ao método Água. Isto demonstra que o meio etílico seria mais interessante para o uso de compósitos de fibra de vidro e seus híbridos, por possuir polaridade diferente da água.

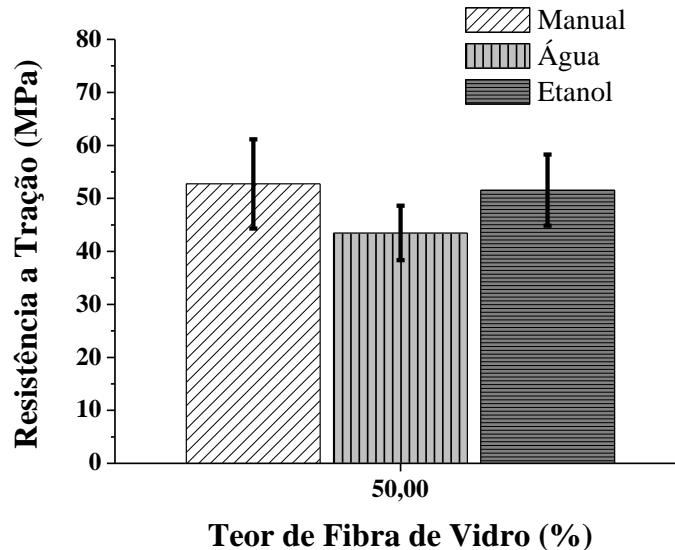


Figura 11. Resistência à tração nos compósitos como função do método de preparação da manta

Entretanto, os valores obtidos pelo método Etanol mantiveram-se, em geral, inferiores aos de compósitos reforçados com mantas confeccionadas por via seca. Isto pode ser justificado em função da remoção de parte do *sizing* da fibra de vidro. Assim conclui-se que métodos de via seca, como método Água obtem melhor desempenho do que os métodos que utilizam fase líquida.

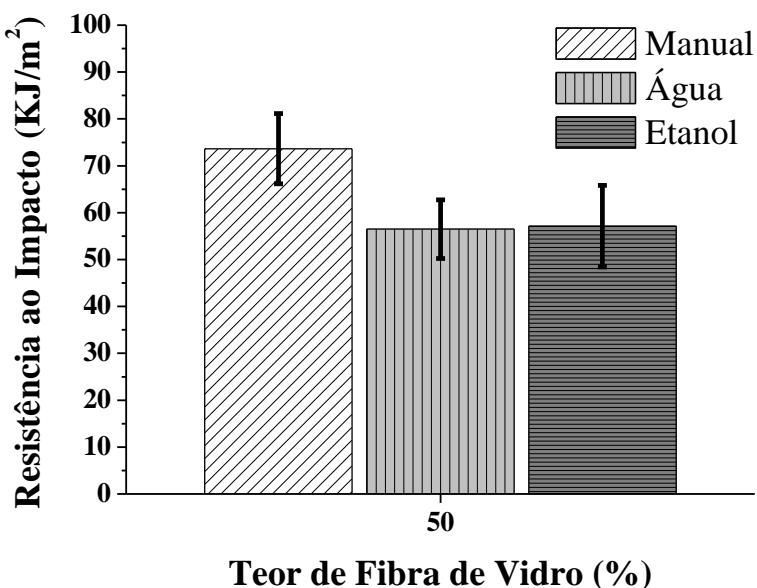


Figura 12. Resistência ao impacto nos compósitos como função do método de preparação da manta.

CONCLUSÕES

Comparando-se o métodos Manual, Manula-lav e Água, é que compósitos reforçados por fibra de vidro lavada absorvem menos água que os compósitos com fibra de vidro não lavada. Conclui-se, que imersão da fibra de vidro em água pode interferir ou até mesmo remover parte do *sizing* pré-aplicado a fibra de vidro. Os resultados também mostraram que as mantas fabricadas Método Água pareceram dificultar a permeação da resina por entre as fibras resultando em propriedades mecânicas inferiores e menos reprodutíveis que o método Manual, de via seca.

Comparando-se os métodos Água e Etanol é possível observar que os valores para o método Etanol mantiveram-se sempre superiores ao método Água devido a polaridade destes fluidos em relação às fibras. Entretanto, os valores obtidos pelo método Etanol mantiveram-se, em geral, inferiores aos de compósitos reforçados com mantas confeccionadas por métodos de via seca.

Agradecimentos. Os autores agradecem as seguintes instituições: UCS, UFRGS e CAPES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] El-Tayeb NSM. *Wear*, **265**, 223 (2008)
- [2] Idicula M, Boudenne A, Umadevi L, Ibos L, Candau Y, Thomas S. *Composites Science and Technology*, **66**, 2719 (2006)
- [3] Joshi SV, Drzal LT, Mohanty AK, Arora S. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*, **35**, 371 (2004)
- [4] Ahmed KS, Vijayarangan S, Naidu ACB. *Materials & Design*, **28**, 2287 (2007)
- [5] D'almeida, JRM, Monteiro SN “*Compósitos reforçados por fibras naturais – oportunidades e desafios*”. Em: Anais do 58º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais), 2003. São Paulo (Brasil): ABM, 2003, p. 1725-1734.
- [6] Mallarino S, Chailan JF, Vernet JL. *European Polymer Journal*, **41**, 1804 (2005)
- [7] Frazer WA., Ancker FH, Dibenedetto AT, Elbirli B. *Polymer Composites*, **4**(4), 238 (1983)
- [8] Plonka R, Mäder E, Gao SL, Bellman C, Dutschk V, Zhandarov S. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*, **35**, 1207 (2004)
- [9] Schutte CL. *Material Science and Engineering*, **13**, 265 (1994)
- [10] Scholz H. *Glas-Natur, Struktur, Eigenschaften*, 2ª Edição. Auflage (Alemanha). Springer Verlag (1997).
- [11] Vieira CAB, Angrizani CA, Freire E, Zattera AJ, Santana RMC, Amico SC “Influência do comprimento da fibra de sisal e do seu tratamento químico nas propriedades de compósitos com poliéster”. Em: Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 2006. São Paulo (Brasil): INPE, 2007.
- [12] Norma ASTM D570 D 792, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 1998.
- [13] Norma ASTM D 3039/ D 3039M, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 15.03, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2003.
- [14] Norma ASTM D 256, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 03.01, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2004.
- [15] Wambua P, Ivens J, Verpoest I. *Composites Science and Technology*, **63**, 1259 (2003).
- [16] Brown EN, Davis AK, Jonnalagadda KD, Sottos NR. *Composites Science and Technology*, **65**, 129 (2005)
- [17] Dhakal HN, Zhang ZY, Richardson MOW, Errajhi OAZ. *Composites Structures*, **81**, 559 (2007)