

# INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DAS FIBRAS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPÓSITOS PIAÇAVA/POLIÉSTER <sup>(1)</sup>

*Sergio Neves Monteiro<sup>(2)</sup>  
José Roberto Moraes d'Almeida<sup>(3)</sup>  
Janine Feitosa de Deus<sup>(2)</sup>  
Luiz Augusto Hernandez Terrones<sup>(2)</sup>  
Regina Coeli M. Paes Aquino<sup>(4)</sup>*

## **Resumo**

Realizou-se um tratamento de mercerização e aplicação de vácuo visando melhorar a aderência de fibras de piaçava usada como reforço de compósitos com matriz de resina poliéster. A mercerização constou de imersão em solução de NaOH, seguida de enxágüe e secagem em estufa. As fibras já secas foram mantidas sob vácuo até o momento da fabricação dos compósitos. Durante a fabricação dos compósitos, diferentes níveis de carga, até 15 ton, foram aplicados em placas moldadas com 30 e 40% de fibras de piaçava. Corpos de prova foram extraídos destas placas e submetidos a ensaios de flexão. Os resultados obtidos mostraram que o tratamento realizado, contrário ao esperado, diminuiu a resistência mecânica. Aparentemente a ação tanto do NaOH quanto do vácuo degrada a estrutura da fibra.

**Palavras-chave:** Compósitos; Matriz poliéster; Fibras de piaçava; Tratamentos de fibras; Resistência mecânica.

<sup>1</sup> *Submetido ao 60º Congresso Anual – ABM, Belo Horizonte, MG, 25-28 de julho de 2005.*

<sup>2</sup> *Laboratório de Materiais Avançados, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

<sup>3</sup> *Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rua Marques de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ – Brasil.*

<sup>4</sup> *Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET, Av. Dr. Siqueira, 273, 28030-130, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.*

## INTRODUÇÃO

Compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras de piaçava vêm sendo objeto de diversos trabalhos nestes últimos anos (AQUINO et alii, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004; BONELLI et alii, 2003; DE DEUS et alii, 2004). Alguns aspectos técnicos e econômicos justificam o interesse por este tipo de material, sobretudo pelas características próprias das fibras de piaçava. Essas fibras são normalmente longas, podendo atingir até 4 metros de comprimento (AQUINO et alii, 2001). Mesmo aquelas descartadas como resíduos da fabricação de vassouras, cestos cordas e coberturas de casas, ainda possuem, em média, comprimentos muito superiores ao crítico que define fibras longas para efeito de reforço de um material compósito (AQUINO et alii, 2003).

Outra característica técnica de um dos tipos de fibra de piaçava, a *Attalea funifera Mart*, originária do sul do estado da Bahia é o fato de apresentar fibras rígidas. Isto facilita a fabricação de compósitos com fibras alinhadas e se reflete em melhores propriedades mecânicas. No aspecto econômico, o mercado da piaçava, tipicamente brasileiro, está hoje avaliado em cerca de 80 milhões de reais, com uma estimativa de 15 milhões só para o uso potencial dos resíduos que hoje são queimados ou lançados no meio ambiente como lixo (AQUINO et alii, 2001). Vale aqui comentar que o uso que se pretende dar a esses resíduos na forma de reforço de compósitos poliméricos, aumenta sobremaneira o valor agregado da fibra de piaçava.

Além dos aspectos técnicos e econômicos, é importante lembrar aqueles ambientais. Em particular, deve ser enfatizado o fato da piaçava ser uma fibra extraída sem derrubada da sua palmeira. Outro aspecto economicamente relevante é a possibilidade do compósito reforçado com fibras de piaçava, substituir a madeira, (AQUINO et alii, 2004) que necessariamente implica na derrubada de árvores.

As propriedades mecânicas das fibras de piaçava, tanto isoladas quanto incorporadas em compósitos, foram apresentadas e discutidas em recentes trabalhos (AQUINO et alii, 2003, 2004; DE DEUS et alii, 2004). Em todos eles, os ensaios mecânicos foram conduzidos em corpos de prova utilizando fibras úmidas como recebidas ou então secas em estufa. Além disto, foi estudada a influência de variáveis como a carga exercida durante a cura da matriz, a quantidade relativa de fibra e velocidade do ensaio (DE DEUS et alii, 2004). Verificou-se nestes trabalhos que a carga e a velocidade pouco influíram na resistência mecânica. Por sua vez, um aumento na quantidade relativa, até 40% de fibra seca, aumenta linearmente a resistência mecânica. Entretanto, a umidade presente no estado natural das fibras de piaçava reduz, comparativamente, a resistência e produz uma sensível dispersão nos seus valores. Este efeito foi explicado pela falta de aderência entre a fibra e a matriz (DE DEUS et alii, 2004). Assim, o melhor resultado até agora obtido em compósitos poliméricos reforçados com fibra de piaçava foi de  $99,24 \pm 9,02$  MPa. Este valor foi obtido em um ensaio de flexão em compósito com 40% de fibras secas, fabricado sob carga de 15 ton.

Uma vez que, em princípio, o tratamento superficial de fibras naturais poderia melhorar as propriedades mecânicas, o objetivo do presente trabalho foi tentar obter resistência mecânica ainda maior em compósitos fabricados com 30 e 40% de fibras de piaçava devidamente tratadas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de piaçava (*Attalea funifera Mart*) investigadas no presente trabalho são similares e de mesma procedência às utilizadas em recentes publicações (AQUINO et alii, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004; DE DEUS et alii, 2004). Nestas publicações, antes de se utilizar as fibras de piaçava como reforço para compósito,, elas foram simplesmente limpas com água, parcialmente secas ao ar ambiente e então secas em estufa a 60°C por 30 minutos. No presente trabalho as fibras de piaçava foram submetidas a um tratamento superficial para avaliar o efeito sobre a resistência mecânica com compósitos.

O tratamento correspondeu à colocação das fibras em solução aquosa com 10% de NaOH por um período de uma hora. Este tratamento de mercerização foi seguido por pleno enxágüe até que a água ficasse neutra, ou seja, até não ser detectada alcalinidade com papel de tornassol. As fibras foram então colocadas em estufa a 60°C, por aproximadamente 2 horas, tempo necessário para que secassem. Ao final, as fibras mercerizadas, neutralizadas, e secas foram colocadas em um dessecador sob vácuo, aguardando o instante de fabricação dos compósitos com matriz poliéster. A resina poliéster utilizada foi do tipo ortoftálica, comercialmente disponível, à qual foi acrescentado 0,5% do catalisador à base de metil-etil cetona, como indicado pelo fabricante.

A quantidade de resina utilizada para fabricar os compósitos com 30 e 40% de fibras de piaçava foi respectivamente de 70 e 60 % em peso, acrescida das sobras que se verificou ocorrer em cada processo de compactação com 0, 5, 10 ou 15 ton. Ou seja, no cálculo da quantidade de resina levou-se em conta as perdas ocorridas por vazamento no molde em virtude da carga aplicada durante a cura.

Placas dos compósitos com as duas composições foram fabricadas usando-se um molde retangular de aço, 152 x 122 mm, com 7 cm de espessura. Todas as fibras, cortadas com mesmo tamanho de 122 mm, foram alinhadas paralelamente à dimensão da placa com igual comprimento. Isto caracterizou compósitos do tipo reforçado por fibras alinhadas e longas, já que o comprimento crítico das fibras de piaçava é de 15 mm (AQUINO et alii, 2003). Após mistura com as fibras, a placa de compósito sob carga de até 15 ton, obtida em prensa Schwing Siwa, mod. PHMA, foi deixada curar por 24 horas. Cada placa já curada, foi então cortada em 6 corpos de prova com 122 x 25 x 7 mm, estando as fibras alinhadas ao longo da maior dimensão, conforme acima mencionado.

Os corpos de prova foram ensaiados em flexão de 3 pontos, utilizando-se máquina Instron mod. 5582, com capacidade de 100 kN, a uma velocidade de 5mm/min, correspondendo a uma taxa de deformação de  $1,6 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Do valor da carga aplicada, Q, obteve-se a tensão máxima associada ao módulo de ruptura através da equação

$$\sigma = \frac{3QL}{2bd} \quad (1)$$

sendo L a distância entre os suportes, no caso 90 mm, b a largura, no caso 25 mm, e d a espessura, no caso 7 mm, do corpo de prova. Assim, a relação de abertura para profundidade (span-to-depth ratio) foi de aproximadamente 17, o que está dentro do intervalo exigido por norma para ensaios de flexão de três pontos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios, com respectivos desvios padrão, obtidos para o módulo de ruptura dos compósitos, com matriz poliéster reforçada com 30 e 40 % de fibras tratadas de piaçava, curados sob carga de 0, 5, 10 ou 15 ton.

**Tabela 1.** Módulo de ruptura (MPa) dos compósitos com fibras tratadas de piaçava.

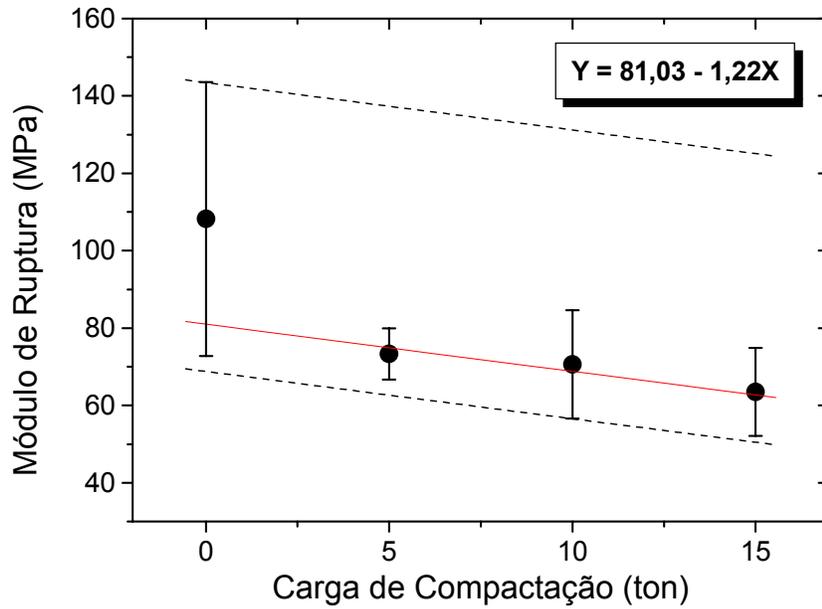
Carga de compactação (ton)	Porcentagem em peso de fibras	
	30%	40%
0	108,2 ± 35,4	77,7 ± 8,4
5	73,3 ± 6,6	75,7 ± 5,6
10	70,6 ± 14	74,3 ± 12,3
15	63,5 ± 11,4	67,1 ± 13,1

Vale aqui mencionar que o limite de carga de 15 ton aplicado durante a cura dos compósitos foi estabelecido em trabalho anterior (DE DEUS et alli, 2004). Acima desse valor, o molde de aço sofre distorções dimensionais que geram placas heterogêneas com resistências mecânicas comparativamente menores.

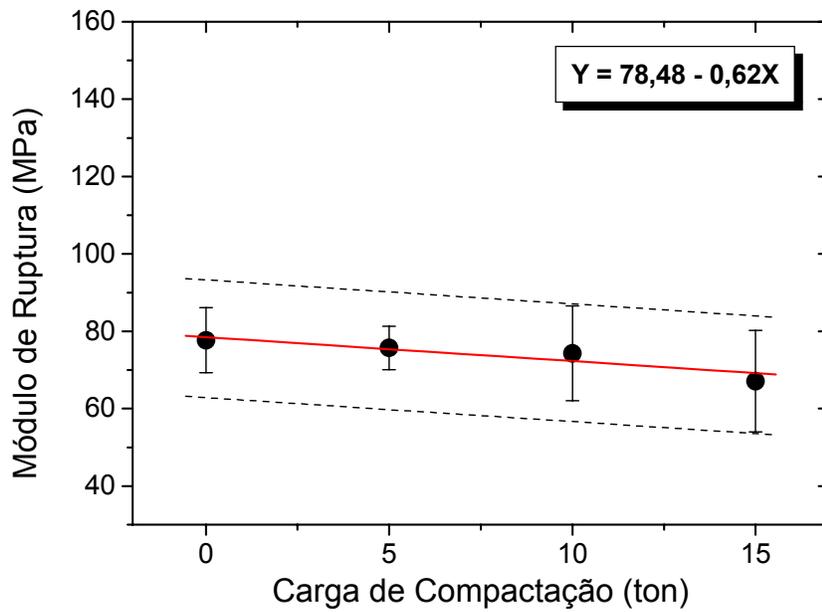
A Figura 1 apresenta o gráfico da variação do módulo de ruptura em flexão dos compósitos com 30 % de fibras tratadas de piaçava em função da carga de compactação aplicada durante a cura. Observa-se nesta figura que, ao contrário do que se imaginaria, a carga exercida durante a cura tende a diminuir a resistência do compósito. Em princípio, a carga deveria forçar a resina ainda líquida a preencher as reentrâncias da fibra de piaçava. Isto, por sua vez, melhoraria a ligação na interface fibra/resina. Resultados similares, ou seja, decréscimo da resistência com a carga, foram obtidos com fibras não tratadas de piaçava (DE DEUS et alli, 2004).

A Figura 2 apresenta o gráfico da variação do módulo de ruptura em flexão dos compósitos com 40% de fibras tratadas de piaçava em função da carga de compactação aplicada durante a cura. Um comportamento similar ao da Fig. 1 foi constatado na Fig. 2. Ou seja, a carga exercida durante a cura causou um ligeiro decréscimo na média dos valores da resistência dos compósitos. É importante mencionar que a faixa de incerteza, dada pelas retas paralelas e tracejadas passando pelos extremos dos desvios padrão, também serve para indicar que a carga de compactação, estatisticamente, pode não estar influenciando na resistência dos compósitos.

No trabalho de DE DEUS et alli, (2004) a justificativa para o comportamento análogo ao observado nas Fig. 1 e 2 foi de que a carga exercida durante a compactação não auxilia na impregnação das fibras com resina mais do que a simples mistura. Entretanto, uma outra justificativa poderia ser sugerida. Embora a carga possa estar ajudando na impregnação da fibra, simultaneamente pode estar causando danos à estrutura celulósica da piaçava, diminuindo a sua resistência e, conseqüentemente, a do compósito.



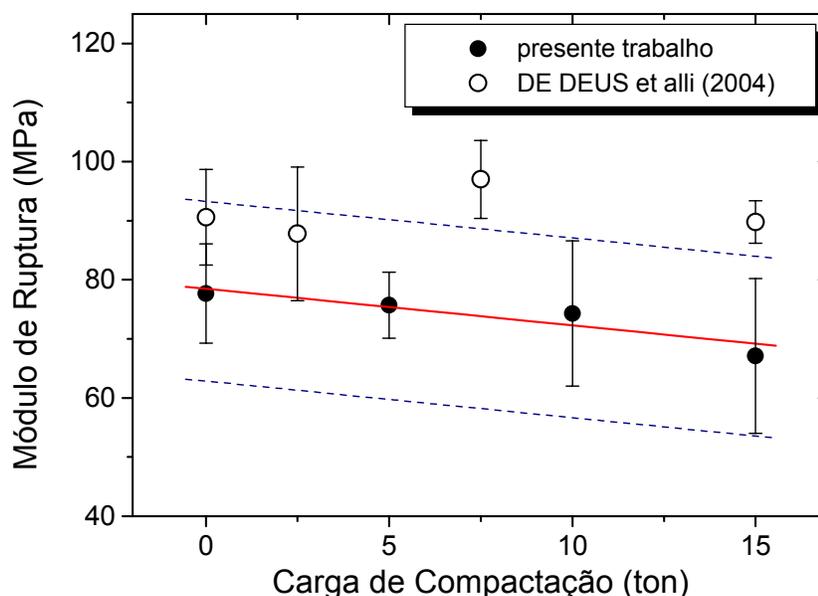
**Figura 1.** Resistência à flexão dos compósitos com 30% de fibras tratadas de piaçava versus a carga de compactação.



**Figura 2.** Resistência à flexão dos compósitos com 40% de fibras tratadas de piaçava versus a carga de compactação.

Esta explicação para a influencia da carga é viável tendo em vista o fato das fibras de piaçava serem rígidas e com mais dificuldade de acomodarem deformações causadas pela carga, comparativamente com as outras fibras naturais flexíveis.

A Figura 3 apresenta os resultados da Fig. 2 (círculos fechados) em conjunto com resultados anteriores (círculos abertos) obtidos por DE DEUS et alli (2004) de compósitos com 40% de fibras não tratadas.



**Figura 3.** Resistência à flexão de compósitos com 40% de fibras tratadas (●) e não tratadas (○) de piaçava em função da carga de compactação.

Na Figura 3 é interessante observar que, em média e dentro dos limites dos desvios padrão, os compósitos do presente trabalho com fibras tratadas têm resistências inferiores à dos compósitos com fibras não tratadas. Este é um resultado relevante pois indica que o tratamento efetuado foi contrario ao que se esperava. Ainda que o decréscimo da resistência, para todas as pressões de compactação, não seja muito grande, a Fig. 3 mostra que o tratamento efetivamente degrada o compósito. No caso dos compósitos com 30% as diferenças entre fibras tratadas e não tratadas não são significativas, mas também existem.

Antes de se discutir este assunto é importante lembrar que o tratamento de mercerização, secagem e vácuo teve por finalidade eliminar, ao máximo, tanto a oleosidade quanto a umidade superficial. Fibras naturais normalmente apresentam óleo em sua composição. Na superfície, uma película de óleo constitui-se em barreira para a formação de ligações responsáveis pela resistência interfacial entre a estrutura celulósica da fibra e o reticulado polimérico da matriz. As fibras naturais também são hidrofílicas enquanto a resina poliéster é hidrofóbica. Logo, a presença superficial de umidade é altamente deletéria à formação de uma interface eficiente entre reforço e matriz (BLEDZKI et allii, 1996). Assim, era de se esperar que o tratamento melhorasse a resistência do compósito. Surpreendente, ocorreu o

inverso, o que merece uma justificativa para se colaborar com as tentativas práticas de tratamento, convencionalmente utilizadas em outras fibras naturais (D'ALMEIDA e MONTEIRO, 2003).

A possível razão para esta inversão de expectativa em relação ao tratamento das fibras de piaçava deveu-se, provavelmente, à degradação causada a sua estrutura celulósica. Aparentemente a solução de NaOH, além de eliminar a oleosidade, degrada a estrutura celulósica, tornando-a menos resistente. O vácuo após a secagem poderia também ter contribuído para o enfraquecimento das fibras lignocelulósicas, expulsando compostos voláteis e acarretando maior porosidade. Estas hipóteses estão sendo investigadas no momento. De qualquer maneira, um estudo mais aprofundado sobre a degradação e enfraquecimento das fibras de piaçava devido aos efeitos da carga exercida durante a compactação, ataque por NaOH e formação de poros pelo vácuo, vai além do escopo deste trabalho.

Finalmente é importante comentar que, diferente da maioria das outras fibras naturais (VARMA et alli, 1989) a piaçava reagiu de maneira negativa ao tratamento clássico para melhorar a interface com a resina, visando aumentar a resistência do compósito. Na prática isto significa ser desnecessário, no caso da piaçava, investir em procedimentos de maior custo, comumente sugeridos para melhorar o desempenho de fibras naturais em compósitos. Ou seja, a simples secagem em estufa da fibra de piaçava deve ser suficiente para garantir seu máximo desempenho em compósitos de matriz polimérica.

## **CONCLUSÕES**

Um tratamento superficial de mercerização e secagem sob vácuo de fibras de piaçava utilizadas posteriormente como reforço de compósitos de matriz poliéster não trouxe melhoria na resistência mecânica.

A aplicação de carga sobre a matriz causou também, em média, um ligeiro declínio no módulo de ruptura em flexão.

Em confronto com compósitos similares de matriz poliéster, reforçada com 30 e 40% de fibras não tratadas, foi constatada diminuição na resistência à flexão.

Sugere-se que o tratamento de mercerização e a aplicação de vácuo sejam mais efetivos em degradar a estrutura celulósica das fibras, não compensando as vantagens de eliminar oleosidade e umidade superficiais. A carga de compactação durante a cura do compósito também poderia estar degradando as fibras.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio a esta pesquisa, na forma de recursos e bolsas, concedidos pelo CNPq, CAPES e FAPERJ. É também motivo de agradecimento a colaboração prestada pelo Prof. Eduardo A. de Carvalho e pelos bolsistas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AQUINO, R. C. M. P., MONTEIRO, S. N., D'ALMEIDA, J. R. M. Analysis and Characterization of Piassava Fibers, **Anais do 7º Congresso Brasileiro de Microscopia de Materiais**, MICROMAT, p. 2, 2000, 1 CD.
- 2 AQUINO, R. C. M. P., D'ALMEIDA, J. R. M., MONTEIRO, S. N. **J. Mater. Sci. Letters**, vol. 20 p.1017, 2001.
- 3 AQUINO, R. C. M. P., MONTEIRO, S. N., D'ALMEIDA, J. R. M. **Metalurgia & Materiais**, v. 58, n° 527, p. 97, 2002.
- 4 AQUINO, R. C. M. P., MONTEIRO, S. N., D'ALMEIDA, J. R. M. **J. Mater. Sci. Letters**, vol. 22 p.1495, 2003.
- 5 AQUINO, R. C. M. P., D'ALMEIDA, J. R. M., MONTEIRO, S. N. Mechanical Properties and Microstructure of Piassava Fiber Composites with Polyester Matrix, **Global Symposium on Recycling Waste Treatment and Clean Technology – REWAS'2004**, V. 1, P. 125-1331, San Sebastian, Espanha, maio de 2004.
- 6 BLEDZKI, A. K., REIHMANE, S., GASSAN, J. **J. Appl. Polym. Sci.**, vol. 59, p. 1329, 1996.
- 7 BONELLI, C. M. C., ELTON, A. E., MARTINS, H. R., SUAREZ, J. C. M., MANO, E. B. Utilização de Fibras de Piaçava como Reforço em Compósitos de Matriz Polimérica Reciclada, **Anais do 58º Congresso Anual da ABM**, p. 1778, Rio de Janeiro, julho de 2003, 1CD.
- 8 D'ALMEIDA, J. R. M., MONTEIRO, S. N. Compósitos Reforçados por Fibras Naturais – Oportunidades e Desafios, **Anais do 58º Congresso Anual da ABM**, p. 1725-1734, Rio de Janeiro, julho de 2003, 1CD.
- 9 DE DEUS, J. F., MONTEIRO, S. N., D'ALMEIDA, J. R. M. Variáveis no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Poliéster Reforçada com Piaçava, **Anais do 59º Congresso Anual da ABM**, p. 1536-1545, São Paulo, julho de 2004, 1CD.
- 10 VARMA, I. K., KRISHAN, S. R. A., KRISHNAMOORTHY, S. **Composites**, vol. 20, p.383, 1989.

# THE INFLUENCE OF FIBER TREATMENT ON THE MECHANICAL STRENGTH OF PIASSAVA/POLYESTER COMPOSITES<sup>(1)</sup>

*Sergio Neves Monteiro<sup>(2)</sup>  
José Roberto Moraes d'Almeida<sup>(3)</sup>  
Janine Feitosa de Deus<sup>(2)</sup>  
Luiz Augusto Hernandez Terrones<sup>(2)</sup>  
Regina Coeli M. Paes Aquino<sup>(4)</sup>*

## **Abstract**

An alkalization followed by vacuum treatment was performed on piassava fibers to improve their performance as reinforcement for polyester matrix composites. The alkalization consisted of immersion in a NaOH solution before stove drying at 60°C. The dried fibers were kept in vacuum until the composites fabrication. Different levels of pressure, up to 15 ton, were applied in 30 and 40% piassava fiber reinforced composites. Specimens with aligned fibers were cut from the composite plates and tested for flexural strength. The results showed that the treatment, contrary to what was expected, decreased the composite strength. Apparently, the action of both NaOH and vacuum deteriorated the fiber structure.

**Key-words:** Composites; Polymeric matrix; Piassava; Fiber treatment; Mechanical strength.

<sup>1</sup> Submitted for the 60<sup>th</sup> Annual Congress – ABM, Belo Horizonte, MG, July 25-28, 2005.

<sup>2</sup> Laboratory for Advanced Materials, Center of Science and Technology, State University of the Northern Rio de Janeiro, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brazil.

<sup>3</sup> Department of Materials Science and Metallurgy, Catholic University of Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rua Marques de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ – Brazil.

<sup>4</sup> Federal Center of Technological Education, CEFET, Av. Dr. Siqueira, 273, 28030-130, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.