

# Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Fibra de Juta

José R. A. Neto

*Instituto de Macromoléculas, UFRJ*

Laura H. de Carvalho, Edcleide M. Araújo

*Departamento de Engenharia de Materiais, UFCG*

**Resumo:** Neste trabalho as propriedades mecânicas de um compósito, formado a partir de uma matriz de poliuretano derivado do óleo de mamona e reforçada por um tecido tramado de juta, foram avaliadas. O efeito da adição de pequenos teores de bentonita cálcica e sódica sobre as propriedades mecânicas da matriz de poliuretano e de compósitos poliuretano/juta também foi investigado. Os resultados indicam que a incorporação de fibra de juta à matriz poliuretana promoveu melhora significativa nas propriedades sob tração dos compósitos. A adição de pequenos teores de argila à matriz alterou o desempenho mecânico dos compósitos, porém os resultados não foram os esperados. O compósito híbrido poliuretano/argila/fibra de juta, contudo, apresentou propriedades mecânicas superiores às dos compósitos reforçados unicamente com tecido de juta, o que indica uma atuação sinérgica dos reforços híbridos argila/juta.

**Palavras-chave:** *Compósito, poliuretano, fibra de juta, carga nanoparticulada.*

## **Influence of a Nanoparticulate Filler Addition on the Mechanical Properties of Polyurethane/Jute Fiber Composites**

**Abstract:** In this work the mechanical properties of polyurethane/jute fiber composites were evaluated as a function of fiber content and mineral filler addition. A polyurethane (PU) derived from castor oil was used as the matrix and hessian cloth as reinforcement. The effect of the incorporation of small amounts of local clay (bentonite), in its calcium and sodium forms, on the mechanical properties of polyurethane/jute composites was also investigated. The results indicate that the tensile properties of the composites substantially increased with jute fiber addition and that although the mechanical properties of the matrix were affected by the addition of nanoparticulate clay, the improvement was not as expected. This was attributed to poor mixing and dispersion of the filler, which was confirmed by SEM. A synergistic effect was observed for the hybrid clay/jute fiber composites, with considerable improvement in the mechanical performance of the hybrid composites.

**Keywords:** *Composite, polyurethane, jute fiber, nanoparticulate filler.*

## **Introdução**

A partir da Conferência da ONU ocorrida em Estocolmo em 1972, alguns setores da sociedade, preocupados com os desequilíbrios econômico, social e ambiental, desenvolveram a idéia de desenvolvimento sustentável. Neste tipo de desenvolvimento, busca-se conciliar o desenvolvimento gerado a partir da exploração dos recursos produtivos, com os interesses da preservação ambiental, bem como dar oportunidade ao enorme contingente humano que se encontra completamente excluído das conquistas tecnológicas, acessíveis apenas a uma parcela da humanidade<sup>[1]</sup>.

A conscientização da sociedade firmada no conceito de desenvolvimento sustentável exige a produção de materiais ecológicos de baixo custo e consumo de energia reduzida. Buscam-se produtos capazes de satisfazer requisitos fundamentais como a conservação de recursos naturais não renováveis e a manutenção de um ambiente saudável<sup>[2]</sup>.

Materiais compósitos, produzidos com fibras naturais, destacam-se neste conceito.

Compósitos de matriz polimérica com diversos tipos de cargas, em particular os reforçados por fibras, têm recebido muita atenção desde a segunda guerra mundial. A importância desses compósitos é muito grande, sobretudo no campo de aplicação e desenvolvimento de peças automobilísticas e na indústria aeroespacial. Os compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais também têm sido alvo de grande interesse acadêmico e industrial por substituírem, geralmente com vantagens de custo e leveza, as peças feitas de compósitos poliméricos convencionais ou mesmo peças feitas inteiramente de plástico<sup>[3]</sup>.

Os compósitos derivados de produtos vegetais, tanto na matriz como no reforço, inserem-se na política de aproveitamento de recursos renováveis, menos agressivos e tóxicos, visto que as matérias primas de origem vegetal, tais como: óleos, fibras, polímeros, corantes, etc., além de serem oriun-

**Autor para correspondência:** Edcleide M. Araújo, Depto. de Engenharia de Materiais, UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58109-970, Campina Grande, PB, Brasil. E-mail: edcleide@dema.ufcg.edu.br

das de fontes renováveis, atendem aos requisitos de biodegradabilidade e preservação do meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida<sup>[4,5]</sup>. Jayabalan e Lizymol<sup>[6]</sup> abordaram sobre a importância dos poliuretanos como biomateriais e Melo e Pasa<sup>[7]</sup> relataram que a presença de ligações éster, grupos hidroxilas e insaturações promovem sítios de reação no óleo de mamona, o que permite o preparo de derivados industriais importantes como o poliuretano. Mothe e Araújo<sup>[8]</sup> realizaram trabalhos com compósitos de poliuretano, derivado de óleo de rícino, e fibras naturais e ressaltaram a importância desses como substitutos dos derivados de petróleo. Chierice et al.<sup>[9]</sup> enfatizaram que o óleo de mamona além de ser abundante no Brasil é uma matéria prima renovável e não causa agressões ao ambiente. Bledzki et al.<sup>[10]</sup> estudaram compósitos a base de poliuretano reforçado com tecido de linho e juta e obtiveram uma combinação de boas propriedades de aplicações na engenharia e baixa densidade. Além de vários outros trabalhos desenvolvidos na UFPB sobre compósitos de poliéster/fibra de juta em que, em geral, houve ganhos em diversas propriedades<sup>[11-15]</sup>.

O uso de fibras vegetais como elemento de reforço em compósitos poliméricos é de interesse, pois essas provêm de fontes renováveis, são mais leves e custam menos do que as fibras sintéticas; não são tóxicas; são pouco abrasivas aos equipamentos de processo e não poluem o ambiente<sup>[15]</sup>. As fibras naturais mais comuns usadas como reforços em polímeros são: juta, sisal, abacaxi e côco. Entre essas, a fibra de juta é uma das mais importantes, em virtude de seu baixo custo, abundância, maleabilidade e por apresentar, isoladamente, um bom conjunto de propriedades como, por exemplo, elevado módulo e resistência específica. Os compósitos reforçados com essas fibras podem ser usados em telhados de casas populares, painéis e partes de carros, placas para indústria eletrônica, mesas e divisórias para escritório, orelhões, bancada para laboratórios, tanques de armazenamento, entre outros<sup>[16]</sup>. Portanto, em resposta à preservação ambiental, a produção de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais tem sido amplamente estudada por vários grupos de pesquisadores, no Brasil e no Mundo<sup>[13]</sup>.

Nos últimos 10 anos, várias pesquisas têm sido intensificadas sobre o uso de cargas de dimensões nanométricas como elemento de reforço em compósitos de matriz polimérica. Quando a carga além de possuir dimensões nanométricas, interage com a matriz em escala nanométrica, têm-se os nanocompósitos poliméricos que constituem uma nova classe de materiais de grande interesse acadêmico e industrial por apresentarem, em baixos níveis de carregamento, um aumento excepcional em suas propriedades mecânicas, térmicas e de barreira, se comparados aos compósitos convencionais<sup>[4,5]</sup>. A grande maioria dos nanocompósitos poliméricos produzidos atualmente tem argilas bentoníticas como elemento de reforço. Estas argilas podem ou não ser quimicamente modificadas para que nanocompósitos poliméricos sejam obtidos. Se incorporadas a matrizes apolares, a organofilização da argila

é fundamental; porém, quando incorporadas a matrizes relativamente polares, a sua organofilização não é imprescindível.

Em compósitos reforçados por fibras, tem-se um mecanismo de reforço por transferência de tensões da matriz polimérica às fibras que, são mais resistentes e apresentam módulo mais elevado do que o da matriz. Por outro lado, em compósitos reforçados por cargas particuladas de dimensões muito pequenas (nanométricas), o mecanismo de reforço é por dispersão<sup>[4-6,10]</sup>. A hibridização de reforços é uma das formas utilizadas para melhorar ou adequar as propriedades de compósitos poliméricos a uma determinada aplicação.

O presente trabalho enquadra-se na política da utilização e desenvolvimento de produtos a base de matérias primas de origem natural e de importância econômica regional. Para tanto, foram desenvolvidos compósitos poliméricos tendo como matriz uma poliuretana derivada do óleo de mamona e, como reforço, sistemas híbridos constituídos de fibras vegetais (juta) e de cargas minerais nanoparticuladas (bentonitas). Tanto a matriz quanto as fibras utilizadas provêm de fontes renováveis de matéria prima enquanto a carga mineral empregada foi uma argila abundante na Paraíba e de grande importância comercial para a região. Por todos estes motivos, neste trabalho, as propriedades de tração de compósitos PU/juta; PU/bentonita e de híbridos PU/juta-bentonita foram determinadas em função do teor e identidade dos reforços visando-se determinar se, no caso em questão, há ou não vantagem em se utilizar reforços híbridos.

## Experimental

A matriz de poliuretano foi obtida a partir de uma mistura *in situ* de um polioliol derivado do óleo de mamona (Garacin 160) com índice de hidroxila de 160, e um pré-polímero com grupos terminais isocianato, também derivado do óleo mamona, (Proquicin M25) com 25% de isocianato livre. Ambos os insumos foram cedidos pela Proquinor SA, misturados na proporção de 1:0,5, conforme instruções do fabricante. Para evitar a formação de bolhas, causadas pela absorção de umidade, o polioliol, o pré-polímero e o tecido de juta (classificação 2J com 340 g/cm<sup>2</sup> fornecido pela Cia. Têxtil Castanhã) foram secos em estufa com circulação forçada de ar, operando a 80 °C por 40 minutos. As argilas bentonita cálcica (BCa) e bentonita sódica (BNa), fornecidas pela Bentonit União Nordeste, foram secas em estufa operando a 110 °C por 1 hora. Os compósitos poliuretano/juta foram preparados colocando-se o tecido de juta, na quantidade desejada, no interior do molde e vertendo-se sobre ele a mistura Garacin 160/Proquicin M25. O tecido foi impregnado com o auxílio de uma espátula, e em seguida, o molde (200 x 180 x 3 mm) foi fechado e mantido sob uma força de 10 toneladas por 8 horas na temperatura ambiente. Procedimento similar foi adotado na confecção dos compósitos híbridos juta-argila. Nesse caso, as argilas foram incorporadas ao polioliol, por meio de agitação manual por 2 minutos. Decorrido este tempo adicionou-se o Proquicin M25, o sistema foi misturado por 2 minutos e a

**Tabela 1.** Composição dos compósitos de poliuretano/juta/argila bentonita.

Amostras	Teor de bentonita		Teor de fibra de Juta (FJ) (%)
	cálcica	sódica	
	(BCa) (%)	(BNa) (%)	
PU/BCa	2,5	-	-
PU/BNa	-	2,5	-
PU/BCa	5,0	-	-
PU/BNa	-	5,0	-
PU/FJ	-	-	9,0
PU/FJ	-	-	22,0
PU/FJ	-	-	35,0
PU/FJ/BCa	5,0	-	35,0
PU/FJ/BNa	-	5,0	35,0

mistura Garacin 160/Argila/Proquicin M25 foi vertida sobre os tecidos previamente dispostos no interior do molde sob as mesmas condições de impregnação e de compressão acima descritas. Compósitos poliuretano/argila foram preparados de forma análoga. A argila foi adicionada ao poliuretano e misturada manualmente por 2 minutos. A seguir o Proquicin M25 foi adicionado a essa mistura, o sistema misturado por mais dois minutos e a formulação foi vertida no molde que foi fechado e o sistema mantido sob compressão conforme descrito acima<sup>[17]</sup>. As composições dos compósitos investigados estão apresentadas na Tabela 1.

As amostras para ensaios em tração (110 x 12,7 x 3 mm) foram cortadas a partir das placas obtidas e testadas em uma máquina universal de ensaios Testometric Micro 350 operando a uma taxa de carregamento de 5 mm/min. Todos os testes foram realizados na temperatura ambiente, segundo a norma ASTM D-3039. Os valores reportados são valores médios de pelo menos 5 corpos de prova.

As superfícies de fratura das amostras foram recobertas com ouro-paládio e analisadas por microscopia eletrônica de varredura em microscópio da Carl Zeiss DSM960, operando no modo de elétrons secundários com aceleração do feixe entre 15-20 kV e corrente de 80  $\mu$ A.

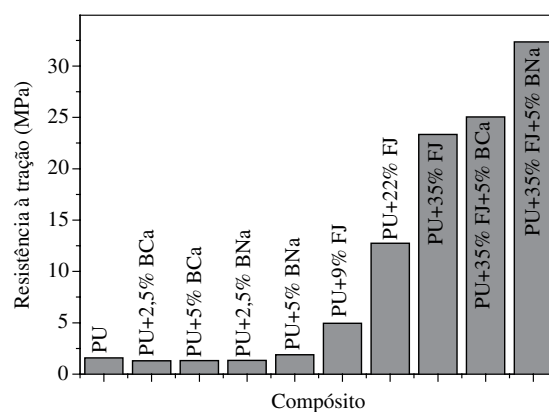
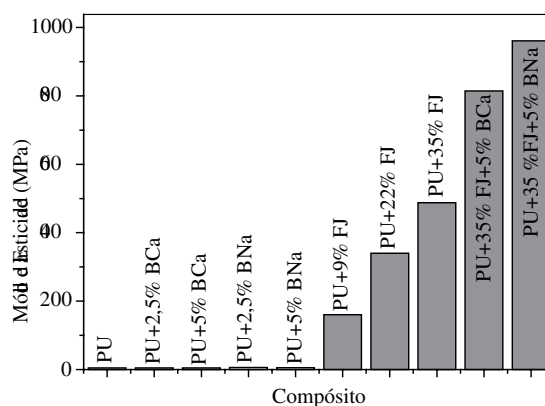
## Resultados e Discussão

Os valores experimentais obtidos para a resistência à tração na ruptura e para o módulo elástico da matriz e dos compósitos investigados estão ilustrados na Tabela 2 e nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Uma análise global dos dados indica que a incorporação de fibras de juta à matriz poliuretano levou a compósitos com resistência e módulo elástico consideravelmente superiores aos da matriz e que, estes aumentos, foram proporcionais ao teor de fibras incorporado aos sistemas. Este comportamento era o esperado e está associado à grande diferença entre as propriedades mecânicas da matriz poliuretano empregada e as das fibras de juta.

Aumentos na resistência à tração na ruptura, e no módulo elástico de sistemas poliuretano/juta, relativos à matriz, de

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas da matriz de poliuretano e dos compósitos obtidos.

Composto	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PU	1,58	4,7
PU/BCa 2,5%	1,29	4,64
PU/BNa 2,5%	1,32	4,95
PU/BCa 5%	1,34	6,27
PU/BNa 5%	1,89	5,18
PU+9% FJ	4,96	160,6
PU+22% FJ	12,75	340,3
PU+35% FJ	23,34	487,5
PU+35% FJ+5% BCa	25,04	814,3
PU+35% FJ+5% BNa	32,36	961,2

**Figura 1.** Resistência à tração na ruptura da matriz de poliuretano e do compósito obtido.**Figura 2.** Módulo de elasticidade da matriz de poliuretano e do compósito obtido.

até 1477 e de 10372%, respectivamente, foram obtidos para os compósitos poliuretano/juta com teores de fibra de 35% em massa.

O efeito da adição de pequenas quantidades ( $\leq 5\%$  em massa) argila bentonita cálcica ou sódica nas propriedades relativas dos sistemas foi pouco importante e, de modo geral, danoso. Isto porque, em média, a resistência à tração na ruptura e o módulo elástico obtido para os compósitos poliuretano/bentonita foram 15-19% inferiores ao da matriz. A

exceção foi o compósito PU/bentonita com 5% de bentonita sódica que apresentou resistência à tração na ruptura e módulo elástico cerca de 19 e 33%, respectivamente, superiores aos da matriz.

Era esperado que a adição de pequenas quantidades de uma carga mineral de dimensões nanométricas, provocasse aumento significativo nas propriedades tênsis de compósitos poliméricos, sobretudo daqueles cuja matriz apresentasse baixa resistência mecânica. Via de regra, compósitos com propriedades inferiores à da matriz são obtidos quando o teor de reforço encontra-se abaixo da concentração crítica ou quando este forma aglomerados que fragilizam o sistema. Acredita-se que, para o sistema em questão, a redução na resistência dos compósitos quando da incorporação da argila, tenha sido provocada pela má dispersão da carga e pela formação de aglomerados. Análises micrográficas, discutidas mais adiante, confirmam que houve a formação de aglomerados quando da incorporação da carga à matriz.

A resistência à tração e módulo elástico dos compósitos híbridos, i.e., daqueles cujo reforço era constituído por 35% de tecido de juta e 5% de bentonita também estão apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Os resultados indicam que aumentos relativos ainda mais significativos foram obtidos para os compósitos híbridos juta-argila. Enquanto a resistência à tração na ruptura dos compósitos poliuretano/35% de juta foi aproximadamente 14,8 vezes superior à da matriz, a dos compósitos híbridos contendo 35% de juta e 5% de bentonitas cálcica e sódica foram, respectivamente, 15,9 e 20,5 vezes superior à da matriz.

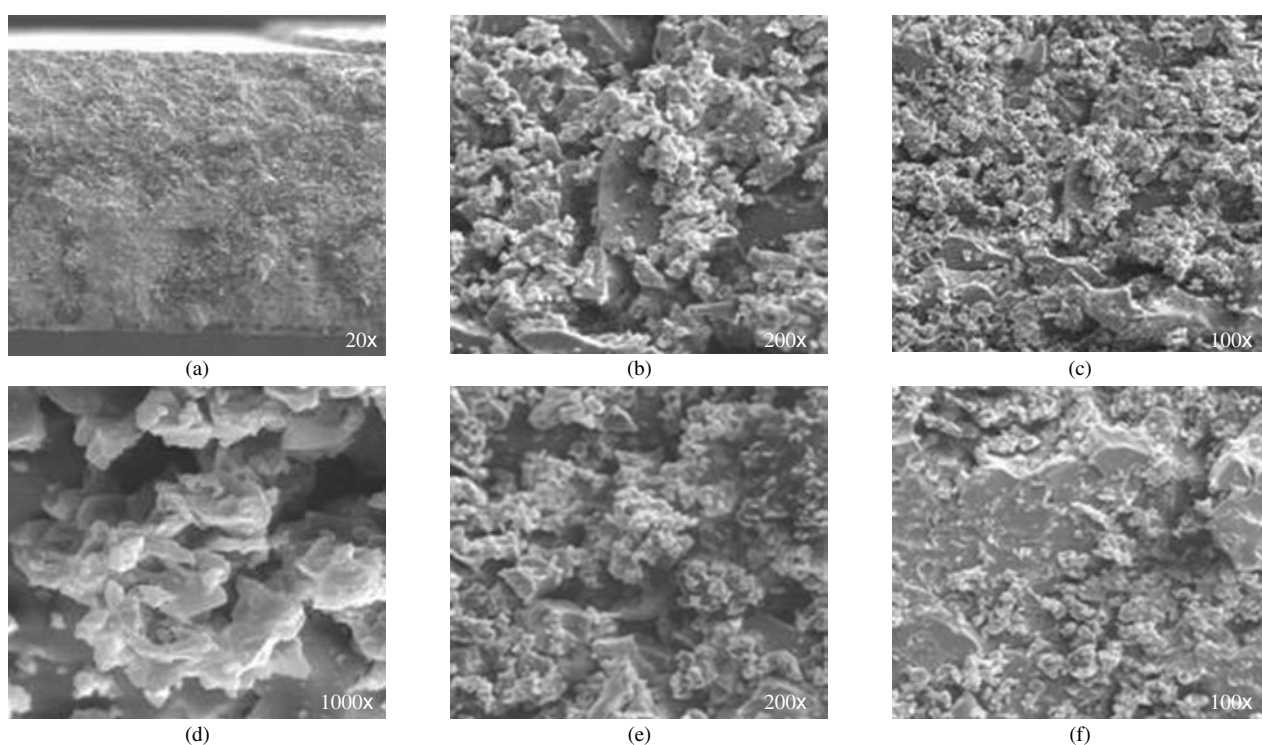
Resultado similar foi observado para o módulo. A incorporação de 35% de fibras de juta ao poliuretano levou a um

compósito cujo módulo era 103,7 vezes superior à da matriz. A incorporação de 5% de bentonitas cálcica e sódica a este mesmo compósito gerou, respectivamente, produtos com módulos 173,3 e 204,5 vezes superiores ao da matriz.

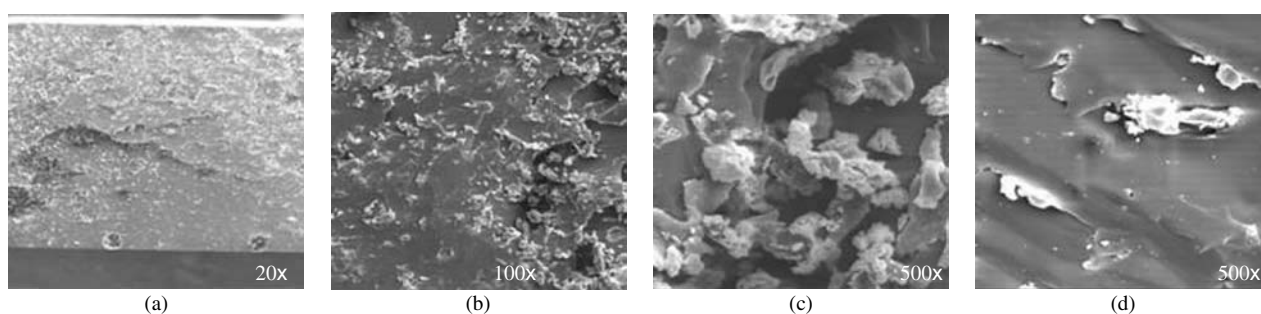
Estes dados evidenciam que a hibridização dos reforços levou a um efeito sinérgico. Isto porque, de modo geral, as propriedades relativas dos compósitos contendo as argilas praticamente foram equivalentes à da matriz pura. Quando da hibridização dos reforços, no entanto, um ganho adicional perceptível e significativo foi obtido. O aumento nas propriedades mecânicas relativas à matriz com a incorporação dos reforços já era esperado. As fibras e as cargas minerais diminuem o movimento das cadeias poliméricas elevando o módulo de elasticidade. Além disso, a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras de juta e das cargas minerais é bastante superior aos da matriz poliuretano<sup>[6,8,10,13-15]</sup>.

Fotomicrografias das superfícies de fratura dos compósitos sendo investigados revelam a formação de aglomerados de carga mineral que variam em tamanho e quantidade em função da natureza da bentonita e da hibridização ou não dos reforços.

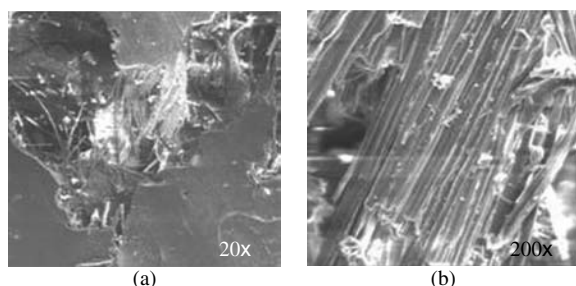
As superfícies de fratura de compósitos poliuretano/5% de bentônica cálcica são mostradas na Figura 3. A fotomicrografia mostrada na Figura 3a apresenta um aspecto uniforme por toda a superfície de fratura. Todavia, as Figuras 3b, 3c e 3f revelam a existência de partículas soltas, não aderidas à matriz, além da formação de agregados, o que reflete uma baixa interação da interface entre a matriz e o reforço. A Figura 3e mostra uma região onde aparentemente não há matriz, o que evidencia a presença de aglomerados de partículas, tornando ainda mais crítica à interação do reforço com a matriz polimérica. Na Figura 3d são mostrados detalhes



**Figura 3.** Fotomicrografias de MEV para os compósitos de poliuretano com 5% de bentonita cálcica (BCa).



**Figura 4.** Fotomicrografias de MEV para os compósitos de poliuretano com 5% de bentonita sódica (BNa).



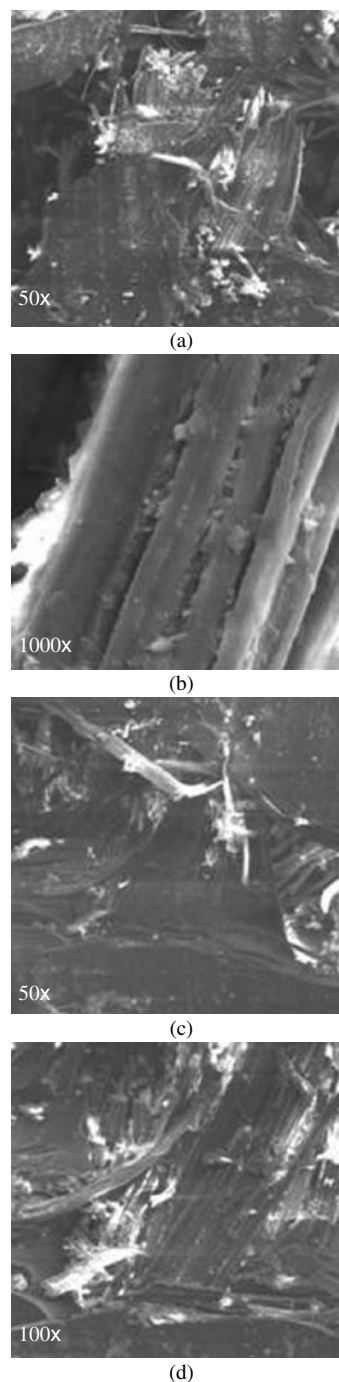
**Figura 5.** Fotomicrografias de MEV do compósito híbrido de poliuretano com 35% de fibra de juta e 5% de bentonita cálcica (BCa).

dessas partículas. Há uma heterogeneidade no tamanho dos agregados o que sugere que o procedimento de mistura não foi suficientemente eficaz para dispersar homogeneamente a argila cálcica.

Acredita-se que a formação de agregados atuando como defeitos e a provável falta de afinidade entre a matriz e o reforço, evidenciadas por MEV, serem os principais motivos para a redução na resistência à tração relativa dos compósitos poliuretano/5% de bentonita cálcica.

O pequeno aumento na resistência à tração do compósito formado por poliuretano contendo 5% de bentonita sódica em relação à matriz pura pode ser explicado considerando as análises de MEV mostradas na Figura 4. A Figura 4a revela uma variação na topografia de fratura com uma superfície mais rugosa na parte superior e uma superfície mais plana (tipo frágil) na parte inferior. Foi possível detectar a existência de vazios. A Figura 4b revela detalhes da região mais rugosa mostrando a existência de partículas soltas e agregados semelhantes aos apresentados na Figura 3, todavia em menor número. A Figura 4c mostra detalhes de um agregado de partículas. Há variação no tamanho dos agregados. A Figura 4d mostra a região plana revelando a existência de partículas mais espaçadas, indicando que não houve dispersão homogênea no processo. A partir dessas informações é possível considerar que mesmo constatando a formação de agregados, de vazios e de má homogeneização das partículas de bentonita sódica, uma menor quantidade de agregados foi observada em relação à amostra contendo bentonita cálcica.

A incorporação de 5% de argila ao compósito de poliuretano/juta causou um efeito sinérgico nas propriedades do híbrido. As Figuras 5a e 6a apresentam o aspecto geral da superfície de fratura dos compósitos e as Figuras 5b e 6b mostram as fibras com pouca resina aderida. As Figuras 5a,



**Figura 6.** Fotomicrografias de MEV do compósito híbrido de poliuretano com 35% de fibra de juta e 5% de bentonita sódica (BNa).

6c e 6d mostram a presença de pequenos blocos de partículas agregadas na matriz de poliuretano. É possível que grupos polares das fibras e argilas tenham interagido de modo que as partículas de argila tenham se concentrado mais sobre a superfície das fibras de juta diminuindo a formação de agregados e provocando um efeito maior do reforço por dispersão das argilas, associadas ao reforço por orientação das fibras, elevando assim de forma sinérgica as propriedades do compósito. As análises das Figuras 5 e 6 que revelaram a existência de menor quantidade de aglomerados na matriz polimérica, mostram que provavelmente houve uma melhor dispersão das argilas nos compósitos formados com poliuretano/argila/juta, contribuindo dessa forma para um aumento na rigidez desses materiais. Entretanto, as análises microscópicas não fornecem um aspecto geral capaz de permitir uma avaliação do estado de dispersão da argila empregada.

## Conclusões

As propriedades mecânicas de compósitos formados a partir de uma matriz de poliuretano derivada do óleo de mamona e reforçada por fibra de juta com a adição de pequenos teores de bentonita cálcica e sódica foram investigadas. A incorporação de bentonita nanoparticulada numa matriz de poliuretano não promoveu um aumento significativo nas propriedades mecânicas do compósito. A bentonita sódica mostrou-se mais eficaz do que a bentonita cálcica para esse tipo de material. A incorporação de fibras de juta alterou as propriedades mecânicas dos compósitos, aumentando a resistência à tração e o módulo de elasticidade, com o aumento do teor de fibra. O compósito híbrido formado por poliuretano/juta/argila apresentou um efeito sinérgico dos reforços sobre suas propriedades mecânicas elevando significativamente a resistência à tração e o módulo de elasticidade em relação aos compósitos formados com poliuretano/fibra de juta. Apesar de uma carga nanoparticulada ter sido adicionada à matriz poliuretano, verifica-se que a mesma não ficou bem dispersa e que, portanto, um nanocompósito não foi obtido. Os compósitos formados por materiais obtidos a partir de fontes renováveis de matéria-prima representam uma excelente alternativa aos materiais sintéticos derivados do petróleo. Além disso, eles apresentam maior biodegradabilidade e possuem um desempenho notável para inúmeras aplicações e, principalmente, caminham na direção do desenvolvimento sustentável.

## Agradecimentos

Ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa e ao professor José Roberto M. D'Almeida/PUC/Rio de Janeiro pela realização das análises de microscopia eletrônica de varredura.

## Referências Bibliográficas

1. Ribeiro, G.L. - "Militares, Antropologia e Desenvolvimento, Antropologia e Indigenismo", Brasília Jurídica (1990).

2. Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <http://europa.eu.int/scadplus/printversion/pt/lvb/128100.htm>. Acesso em 21 de novembro de 2002.
3. Sabatini, A. A. - "Influência da ISO 14000 nos Materiais Automotivos do Ano 2000. Instituto Brasileiro de produtos Naturais para Uso Industrial"- IPRONATI/PROQUINOR/RICINEM. p. 44-54 (2000).
4. Suh, D.J.; Lim, Y.T. & Park, O.O. - *Polymer*, **41**, p.8557 (2000).
5. LeBaron, P. C.; Wang, Z. & Pinnavaia, T. J. - *Applied Clay Science*, **15**, p.11 (1999).
6. Jayabalan, M. & Lizymol, P. P. - *Polym. Degrad. Stab.*, **58**, (1997).
7. Mello, N. B. & Pasa, V. M. D. - "Poliuretanos Rígidos Obtidos a Partir de Alcatrão de Eucalyptus e Óleo de Ricinus como Materiais de Isolamento Térmico", in: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Polímeros, p.1802 (1995).
8. Mothe, C. G. & Araújo, C. R. - *Thermochemica Acta*, **357-358**, p.321 (2000).
9. Chierice, G. C.; Neto, S. C. & Sabatini, A. - "Ricinocimica - Óleo de Ricino Fonte Renovável Vegetal e seus Derivados para o Uso Industrial na Aplicação Automotiva", Instituto de Química de São Carlos, USP, 1995.
10. Bledzki, A. K. ; Zhang, W. & Chate, A. - *Composites Sci. And Technology*, **61**, p.2405 (2001).
11. Batista, W. W. - "Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliéster/Juta: Efeitos de Tratamentos Superficiais", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Brasil (1995).
12. Costa, R. - "Compósitos Poliéster/Juta: Efeitos de Modificações Químicas no Reforço e na Matriz Poliéster", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Brasil (1997).
13. Carvalho, L. H.; Sousa, J. M. C.; Mesquita, S. V. & Agrawal, P - "Envelhecimento de Compósitos Poliéster/Juta Pultrusados: Efeitos de envelhecimento acelerado", in: Anais do VII ENIC E09. Disponível em: <http://gw-prpg.prpg.ufpb.br/~cgpq/anais/viienic/exatas/ane09.html>. Acesso em 03 de janeiro de 2003.
14. Cavalcanti, W. S. - "Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliéster/Juta: Efeitos de Tratamentos Superficiais, Envelhecimento Térmico e Absorção de Água", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Brasil (2000).
15. Carvalho, L. H., "Chemical modification of natural fibers for reinforcement in plastics", in: *Lignocellulosics Plastics Composites*, v. 1, p. 222, São Carlos/SP (1997).
16. Mello, N. C.; Ferreira, F. C.; Curvello, A. A. S.; Colnago, L. A. & Mattoso, L. H. C. "Estudos e caracterização de sisal "in natura" e sisal benzilado por RMN CPMAS de <sup>13</sup>C", in: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Polímeros, p.1349 (1995).
17. Albuquerque Neto, J. R. - "Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Tecido de Juta", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil (2003).

Enviado: 28/11/05

Reenviado: 13/07/06

Aceito: 05/10/06