



MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM A FIBRA DA FOLHA DO ABACAXIZEIRO

Márcio Eliel de O. ALEXANDRE (1); Van Morrison Silvestre NUNES (2); Halison dos Santos SALES (3); Rodrigo José Silva de ALMEIDA (4)

(1) Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Curso de Mecânica, Av. 1º de maio 100, Jaguaribe, João Pessoa, Paraíba, (83) 3208.3063, eliel@ifpb.edu.br,

(2) IFPB, van.morrison@hotmail.com

(3) IFPB, halisonploga@hotmail.com

(4) IFPB, rodrigo_asg@msn.com

RESUMO

Há uma tendência mundial em buscar recursos naturais alternativos em substituição às fibras sintéticas, que sejam ecologicamente corretos, desenvolvendo novos produtos, gerando emprego e renda através do desenvolvimento de novas tecnologias para a construção civil. Diante dessa tendência as fibras naturais vegetais, tais como a fibra da folha do abacaxizeiro é uma excelente alternativa por possuírem boas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas, por exemplo. As fibras vegetais possuem baixo custo, são biodegradáveis e de fonte renovável. Sendo assim, essa tecnologia contribui para, maior produtividade, menores desperdícios, e maior retorno social dos recursos aplicados constituindo o objetivo a ser alcançado na construção civil. Este trabalho analisou as características e propriedades das fibras da folha do abacaxizeiro e as propriedades mecânicas tais como resistência à tração, módulo de Young (módulo elástico) e resistência ao impacto, do compósito polimérico. O compósito foi reforçado com a fibra em forma de manta, em função do teor de fibra e do comprimento das fibras. Foi utilizado método de moldagem manual (hand lay-up) associado com o método de moldagem por compressão em molde metálico. Foi observado que o teor de fibras e o comprimento das fibras influem nas propriedades do compósito. Os resultados máximos das propriedades mecânicas do compósito foram obtidos no teor de 30% de fibras e do comprimento de 35 mm das fibras.

Palavras-chave: fibras naturais vegetais, fibra da folha do abacaxizeiro, materiais compósitos.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de fibras vegetais na construção data dos primórdios de nossa civilização. Os Persas já usavam as fibras associadas ao solo para construções de habitações, os Egípcios na fabricação de tijolos, resultando em paredes com bom isolamento térmico e boa aparência estética (SATYANARAYANA et al., 1986), (MISHRA et al., 2001) (GEORGE et al., 1998).

Ao longo da última década, importantes indústrias, como o automotivo, de construção ou de embalagem indústrias têm demonstrado grande interesse no desenvolvimento de novos materiais compósitos. Um exemplo disto é a substituição das fibras inorgânicas, tais como fibras de vidro ou de aramida, por fibras naturais como carga. Comparativamente com fibras inorgânicas, fibras naturais apresentam uma série de vantagens, por exemplo, estão em menor densidade e preço, causam menos abrasão a transformação equipamento, são relativamente inofensivas, renovável e biodegradável e ainda as suas propriedades mecânicas são comparáveis aos de fibras inorgânicas (SATYANARAYANA, 1986). Todas estas propriedades têm feito fibras naturais muito atraente para as indústrias, como a indústria automóvel, atualmente empenhado na procura de produtos com propriedades mecânicas comparáveis para termoplásticos reforçado com fibra de vidro, mas que são mais leves, e não causam problemas de saúde dos trabalhadores, em obras recentemente (George et al., 2001) e (MOHANTY et al., 2002).

A utilização dos recursos naturais de material vegetal é uma ótima alternativa para substituir o plástico, espuma e fibras sintéticas que são recursos não renováveis, não-degradáveis e de alto custo. As fontes de

fibras vegetais podem ser o caule, raiz, folhas e frutos, são componentes de plantas que sobrevivem e apoiar as suas estruturas, com exceção da fibra a partir de sementes, tais como o algodão. As fibras são estudadas e utilizadas devido à sua grande diversidade e fonte de recursos naturais renováveis e as suas formas e dimensões, propriedades físicas e mecânicas são uma função da idade da planta, o tipo de solo, condições climáticas locais, o tipo de transformação e composição química, recentemente, DEVI et al., (2004), DORAISWAMY E CHELLAMANI (1993), GEORGE et al. (1998) e MISHRA et al. (2001).

A necessidade de preservar o meio ambiente faz surgir novas tecnologias e produtos alternativos, que ajudam a manter os recursos naturais para que estes não sejam desperdiçados, e sim, preservados e utilizados para as futuras gerações. Diante dessa realidade, atitudes como reciclagem e a biodegradabilidade dos materiais são apontadas como alternativas de aproveitamento dos recursos naturais como é o caso da fibra da folha do abacaxizeiro. Ou seja, uma fibra encontrada no solo brasileiro, principalmente no solo paraibano, sendo este, o maior produtor de abacaxi do Brasil segundo IBGE (2008), correspondendo a 21% da produção nacional. (CARVALHO et al., 2004)

A fibra da folha do abacaxi (*Ananas Comosus*) e do curauá (*Ananas Erectifolius*) são fibras vegetais que provém de fontes renováveis de matéria-prima e apresentam boas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas. Se comparadas às sintéticas, possuem baixo custo, são leves, abundantes e disponíveis para serem agregadas em diversas aplicações, especialmente, no desenvolvimento de compósitos cimentícios e poliméricos, com vantagens em relação às fibras sintéticas. Por isso, a fibra da folha do abacaxizeiro tem atraído a atenção do meio científico e tecnológico na construção civil para reforço em diversos tipos de materiais (DEVI et.al., 1997), (DORAISWAMY, 1993), (CHOAIRY, 1985) e (ALEXANDRE et. al., 2004).

As fibras vegetais são pouco conhecidas nas demais regiões do país e ainda carecem de estudos específicos sobre suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Nesse trabalho foram estudadas as propriedades físicas, mecânicas e microestruturas das fibras de abacaxi em matriz polimérica. Buscou-se comparar o desempenho das fibras de abacaxi e de seus compósitos com as fibras e compósitos de amianto e de outras fibras vegetais, tais como sisal, coco e juta (JOHN e AGOPYAN, 2000 e 2001) e (MUKHERJEE e SATYANARAYANA, 1986).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reforço: fibras vegetais

As fibras vegetais são constituídas por células individuais (microfibras) de celulose, unidas umas às outras por meio da lamela intermediária que é constituída de hemicelulose e lignina. Cada microfibrila é formada por um número de camadas contendo fibrilas que são compostas por cadeias moleculares de celulose. Essas fibrilas se apresentam em cada camada sob a forma de espiral com ângulos de inclinação variáveis, que têm influência sobre o desempenho mecânico da fibra.

A Figura 1 apresenta um esquema de uma microfibrila, onde podem ser vistas as camadas primárias e secundárias. A camada secundária é dividida em três subcamadas (S1, S2 e S3). A seção transversal mostra as células, a lacuna central e as lamelas.

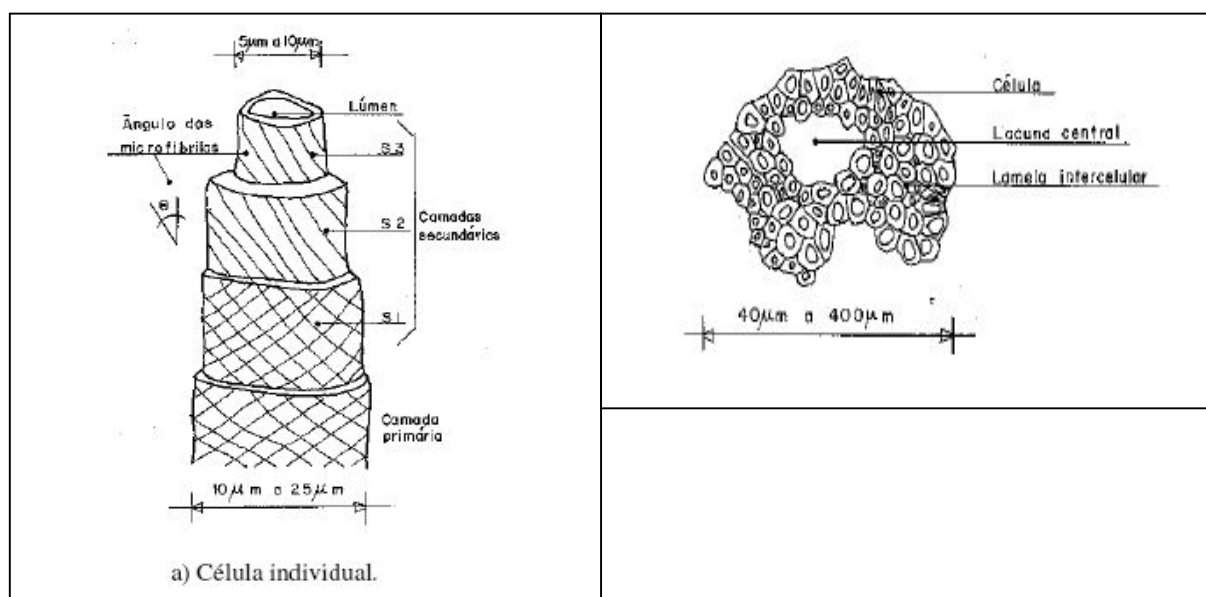


Figura 1- Célula individual e seção transversal da fibra (MUKHERJEE et al., 1986).

A fibra empregada foi a da folha da planta do abacaxi (*Ananas Comosus* (L.) Merr.), variedade “Pérola”, obtidas mecanicamente através de uma máquina defibradeira. As propriedades das fibras das folhas do abacaxi estão relacionadas com as seguintes características na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1- Propriedades da fibra da folha do abacaxizeiro (FFA).

PROPRIEDADES	CARACTERÍSTICAS
Razão de aspecto (comprimento/diâmetro) (L/D)	450
Densidade (g/cm ³)	1,44
Densidade Linear (tex)	2,70 – 3,72
Finura (tex)	2,5 – 5,5
Higroscopicidade (%)	11
Aumento Transversal em água (%)	18 – 20
Cor	Branco-creme (Amarelo-branco)
Toque	Macio e liso
Aspecto	Superfície lustrosa
Combustão	Chama amarela e combustão rápida
Odor da combustão	Papel queimado
Resistência à tração (MPa)	413 – 1627
Alongamento na ruptura (%)	0,8 – 1,0
Módulo Elástico (GPa)	34,5 – 82,5
Módulo de Flexão (MPa)	0,2 – 0,40
Ângulo Microfibrilar (°)	14 – 18
Índice de Celulose (%) / Lignina (%)	81 / 12

DORAISWAMY & CHELLAMANI (1993); MUKHERJEE & SATYANARAYANA(1986); MISHRA (2001).

2.2 Matriz plástica

A matriz é um dos componentes dos materiais compósitos que tem como função principal dispersar e aglomerar o reforço e também ser capaz de transmitir as tensões para o reforço quando submetida a uma

tensão. A matriz também é responsável pelo seu aspecto visual e por proteger o reforço de ataques químicos e físicos.

As resinas poliméricas podem ser: a) termoplásticas que compreendem os quatro materiais mais importantes tais como Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS) e Cloreto Polivinílico (PVC). O termo termoplástico indica que estes materiais fundem-se ao serem aquecidos e podem ser processados por uma variedade de técnicas de moldagem e extrusão. b) termofixas que incluem os alquídios, resinas aminas e fenólicas, epóxi, poliésteres não-saturados e poliuretanas. O termo termofixo mostra que essas substâncias não podem ser refundidas, mas que têm a capacidade de fixação irreversível.

A matriz plástica empregada foi o poliéster insaturado ortoftálico pré-acelerado, de cor clara, rígida, totalmente polimerizável, de baixa reatividade e viscosidade, tixotrópica e fornecida pela RESANA S/A, sob o código RESAPOL 10-116, NF 64.582, com as seguintes propriedades relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2- Propriedades da resina poliéster insaturada.

Propriedades	Especificação
Aparência visual	Levemente castanho
Viscosidade Brookfield a 25°C (30rpm, sp2)	250 – 350
Peso Específico a 20 °C (g/cm ³)	1,10
Índice de Acidez, (mgKOH/g)	30 (máximo)
Índice de Tixotropia	1,20 – 1,40
Tempo de Gel (Curva Exotérmica) (*)	22 – 26 min
Temperatura Máxima (Curva Exotérmica)	130 – 150 °C
Temperatura Mínima de Cura (Curva Exotérmica)	40 – 50 °C (min)

(*) 100 g de resina a 25 °C, 1% de MEKP (Peróxido de Metil Etil Cetona)

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Na caracterização das fibras a espessura das fibras foi analisada usando 20 fibras brutas, com 10 medidas ao longo do seu comprimento, com um micrômetro de precisão e 5 fibras com 5 medidas ao longo do seu comprimento, com um microscópio eletrônico de varredura (MEV). No cálculo do título de fibra, foram analisadas com um total de 1000 fibras com massa total de 2,763 g e comprimento total de 500 m. A densidade absoluta ou massa específica das fibras, analisadas com 10 amostras de fibras brutas com massa média de um grama. O ganho de umidade analisadas com 10 amostras de fibras de massa média de um grama, para cálculo de ganho de umidade.

Foram feitas análises térmicas através de técnicas de análise termogravimétrica (TGA/DTG), em atmosfera de ar como um dos indicadores da estabilidade térmica da fibra, na faixa de 40 a 900°C.

Na preparação do reforço as fibras foram cortadas em comprimentos de 35 mm em forma de mantas preparadas num dispositivo preparador de mantas, cortada nas dimensões 150x200 mm com e sem pré-secagem em forno e prensadas num tempo de 30min.

A moldagem do compósito foi feita num molde metálico com superfícies retificadas com base e tampa através do método de laminação por compressão, com o seguinte procedimento: uso do desmoldante (cera de carnaúba) nas superfícies internas; colocação da resina; colocação da manta; impregnação da resina na manta usando um rolo de alumínio; fechamento do molde na prensa com 8 ton e desmoldagem após 4 h.

Na caracterização dos compósitos as dimensões dos corpos-de-prova obedeceram às dimensões especificadas nas normas para cada ensaio mecânico, tais como a resistência à tração ASTM D3039 (com velocidade de ensaio de 1mm/min e distâncias entre garras de 60mm) para resistência à flexão ASTM D790 (com velocidade de 1mm/min) e resistência ao impacto ASTM D256 (com pêndulo de 2,75J). Foram analisadas

as influências dos teores de fibras e dos comprimentos das fibras nas propriedades mecânicas nos compósitos.

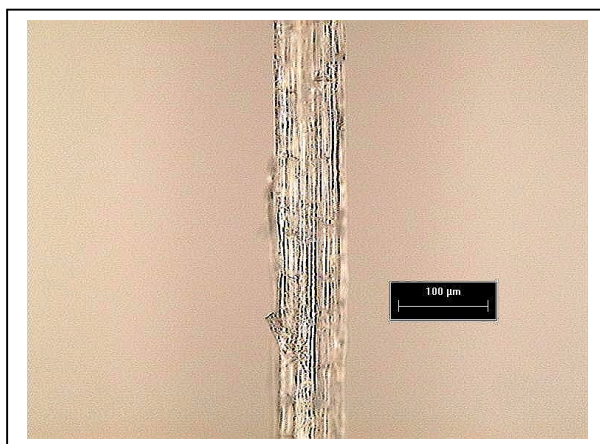
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fibras foram obtidas pelo processo de desfibramento mecânicas e posteriormente cardadas (penteadas) e secas ao ar livre, apresentando boa qualidade como mostra a Figura 2. A espessura média das fibras obtidas foi de 42,10 μm . A densidade linear média foi de 5,5526 tex ou 49,734 denier. A densidade absoluta teve como resultado o valor médio 1,567 g/cm^3 . O ganho de umidade teve como resultado médio 10,57%. A resistência à tração da fibra foi de 1808,57 MPa, com uma carga de 17,19 N e deformação de 13,16 mm.

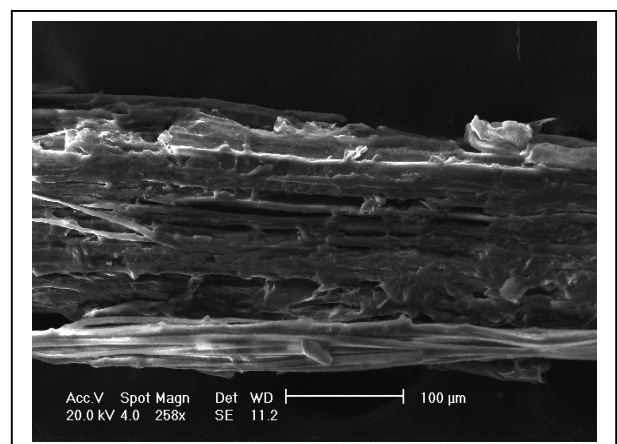


Figura 2 – Fibra da folha do abacaxizeiro *in natura*

Na Figura 3 a microscopia óptica (a) da seção longitudinal da fibra da folha do abacaxi, apresentando uma superfície de aspecto áspero com muitas irregularidades, com espessura variável com média de $\pm 100\mu\text{m}$. A microscopia eletrônica de varredura (b) da superfície da fibra mostrando os nós na superfície da fibra indica estrutura de feixes de fibras, onde cada feixe consiste de várias fibrilas.



(a)



(b)

Figura 3 – Microscopia óptica (MO) (a) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) (b).

As análises térmicas da fibra mostraram os seguintes resultados. Foi observado através das curvas TGA/DTG, que para as fibras *in natura*, não se verifica nenhuma transformação química que caracterize degradação da matéria sendo estável na faixa de temperatura de 40 a 220°C.

As placas de compósito polimérico foram moldada com boa uniformidade de distribuição do reforço e com adequado acabamento superficial como mostra a Figura 4.

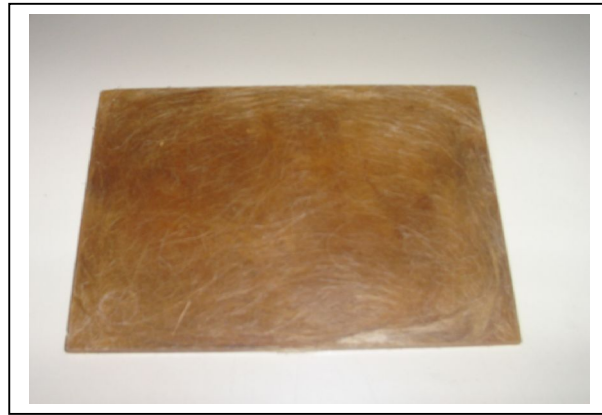


Figura 4 – Placa do compósito polimérico reforçado com a fibra da folha do abacaxizeiro

A resistência à tração em função do teor (a) e do comprimento de fibras (b) *in natura* no compósito é mostrada na Figura 5. Foi observado um valor máximo de 68MPa no comprimento de 35 mm (no teor de 30%) e 70MPa no teor de 30% (no comprimento de 35mm).

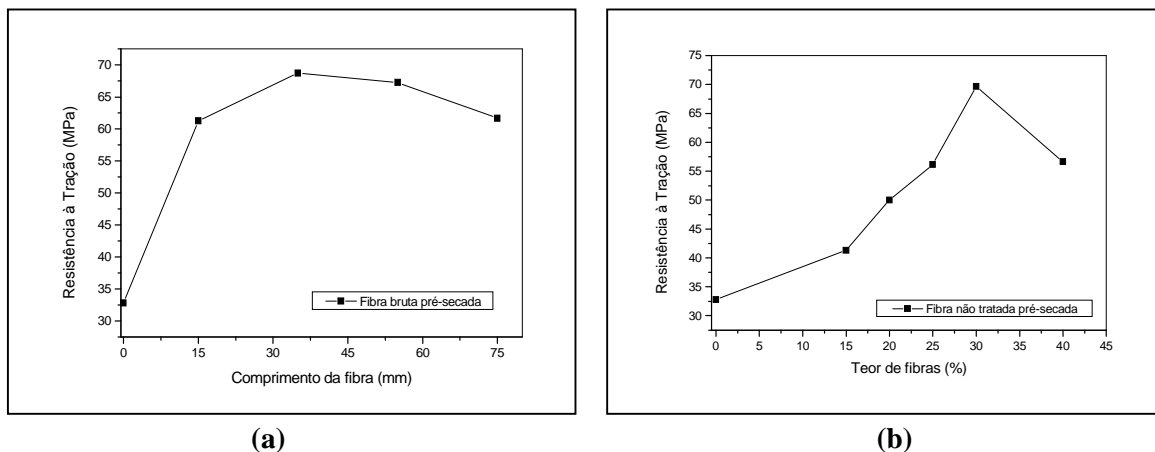


Figura 5 – Resistência à tração das fibras em função do comprimento (a) e do teor das fibras (b).

O módulo de Young em função do teor (a) e do comprimento de fibras (b) *in natura* no compósito é mostrado na Figura 6. Foi observado um valor máximo de 3,6 GPa no comprimento de 35 mm (no teor de 30%) e 3,7 GPa no teor de 30% (no comprimento de 35mm).

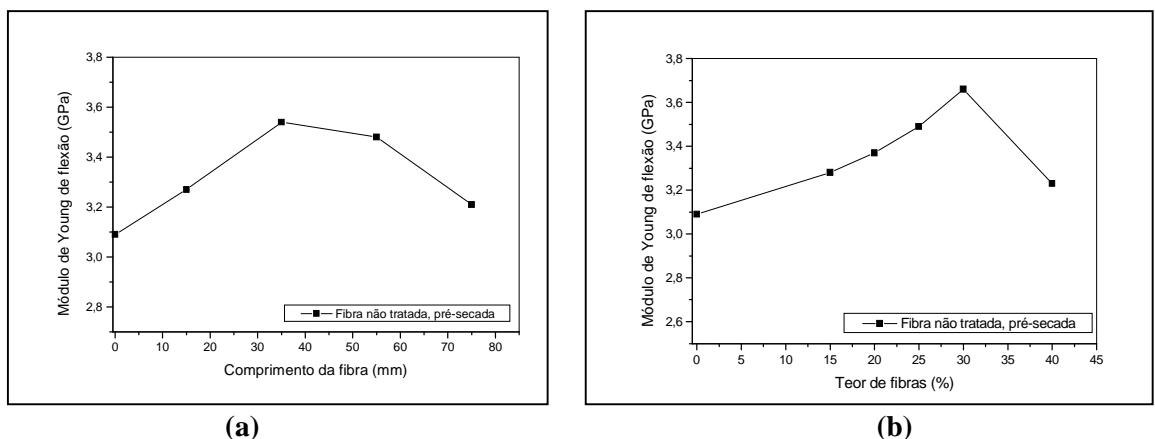
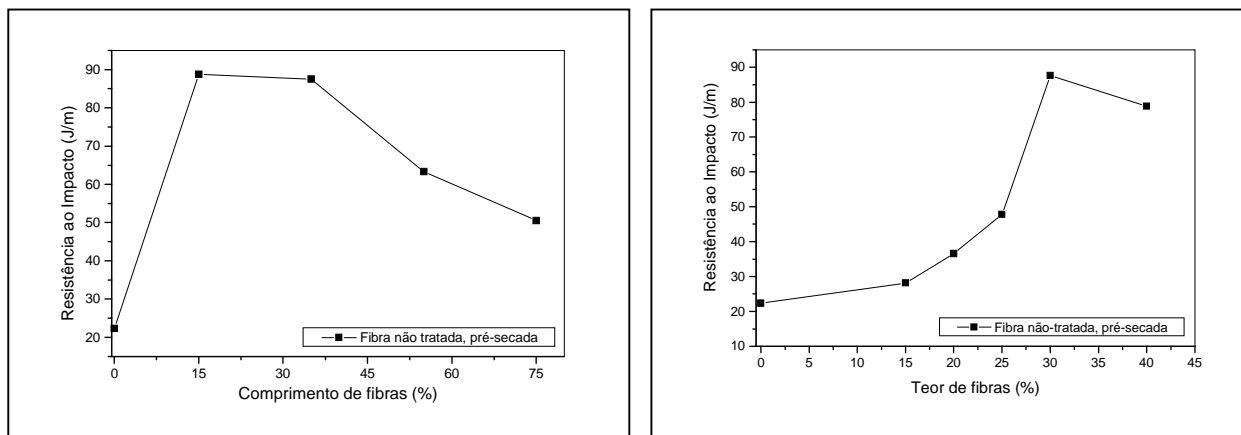


Figura 6 – O módulo de Young das fibras em função do comprimento (a) e do teor das fibras (b).



A resistência ao impacto em função do teor (a) e do comprimento de fibras (b) *in natura* no compósito é mostrada na Figura 7. Foi observado um valor máximo de 88 J/m no comprimento de 35mm (no teor de 30%) e de 88 J/m no teor de 30% (no comprimento de 35mm).



(a) (b)
Figura 7 – Resistência ao impacto das fibras em função do comprimento (a) e do teor das fibras (b).

A resistência à tração e o alongamento na ruptura aumentaram com o teor de fibras, sendo um indicativo de redução da sua natureza quebradiça ou rigidez do compósito, podendo-se esperar um aumento nas propriedades de resistência ao impacto. Estes resultados já eram esperados, visto que a resistência e o módulo das fibras de abacaxi são superiores às da matriz. Com a introdução das fibras no compósito, diminui o movimento livre das cadeias poliméricas, tendo como resultado o aumento do módulo elástico com o teor de fibras.

Com baixos teores de fibras, a matriz não é suficientemente ancorada pelas fibras e deformações locais elevadas ocorrem na matriz a baixas tensões, o que faz com que a ligação fibra-matriz se rompa e matriz seja diluída por fibras não reforçantes. À medida que o teor de fibras aumenta, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas e a resistência do compósito aumenta. Em carregamentos superiores a 30% em peso, a resistência dos compósitos tende a decrescer, devido a maior interação entre as fibras.

A resistência e o módulo de compósitos reforçados por fibras curtas dependem principalmente da eficiência da transferência de tensões da matriz para as o reforço. A eficiência da transferência de tensões depende do comprimento das fibras e da magnitude das interações na interface fibra/matriz. Em compósitos reforçados por fibras curtas há um comprimento crítico das fibras necessário para que a resistência máxima (transferência de tensões) possa ser alcançada.

5. CONCLUSÕES

A curva termogravimétrica mostrou que a fibra é estável até a temperatura em torno de 250°C, podendo ser usadas em materiais isolantes térmicos. Devido a sua estrutura com muitos vazios as fibras podem ser usadas em materiais isolantes térmicos e acústicos. As fibras da folha do abacaxizeiro têm grande potencial na aplicação na engenharia mecânica em materiais compósitos para a fabricação de carcaça de automóveis, pára-choques, painéis de carros, em barcos, caixas de água, cabine telefônica, caixas de correio, depósito de lixo, etc. Na construção civil em materiais compósitos para design de interiores em matrizes plásticas para painéis, divisórias e coberturas. Na indústria têxtil para a fabricação de roupas, no artesanato em geral, etc.

A resistência à tração, o módulo de Young e resistência ao impacto dos compósitos de matriz poliéster reforçados pela fibra da folha do abacaxi, tiveram seus valores máximos no teor de fibras 30% e comprimento de fibras de 35 mm.

Foram obtidos os valores máximos em 112% para a resistência à tração, em 18% para o módulo de Young e em 292% para a resistência ao impacto em relação às propriedades da matriz poliéster pura.

Os resultados mostraram que a fibra de abacaxi possui características e propriedades físicas e mecânicas que possibilitam sua aplicação como reforço de matrizes plásticas aplicadas na indústria mecânica em geral.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, M. E. O. ; LADCHUMANANADASIVAM, R. ; VERÍSSIMO, S. A. ; MENEZES, P. L. ; BATISTA, J. H. ; ARAÚJO, R. C. **Fibra da folha do abacaxi (FFA) como reforço para compósito de matriz poliéster**. Anais do II SIENTEX, Natal, Brasil, 2004.

CARVALHO, L. H.; LADCHUMANANANDASIVAM, R. ; ALEXANDRE, M. E. O. CAVALCANTI, W. S. **Propriedades de compósitos poliéster/fibra da folha do abacaxi**. Anais do SULMAT 2004, Joinville, SC, Brasil, 2004.

CARVALHO, L. H. ; LADCHUMANANANDASIVAM, R. ; ALEXANDRE, M. E. O. CAVALCANTI, W. S. **Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados por fibra da folha do abacaxi**. Anais do ISNAPOL 2004, São Pedro, SP, Brasil, 2004.

CHOAIRY, S. A. **A cultura do abacaxi: práticas de cultivo**. 21f. Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S. A EMEPA-PB, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, João Pessoa, PB, 1985.

DEVI, L. U.; BHAGAWAN, S. S.; THOMAS, S. **Mechanical properties of pineapple leaf fiber-reinforced polyester composites**. J. Appl. Polym. Sci. 64 (1997) 1739-1748.

DORAISWAMY, I. ; CHELLAMANI, P. **Pineapple leaf fibre**. The Textile Institute - Manchester UK, 24 (1) (1993). 1-37.

GEORGE, J; BAGHAWAN, S. S.; THOMAS, S. **Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre**. Composites Science and Technology, 58 (1998) 1471-1485

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras vegetais**. Simpósio Internacional sobre materiais reforçados com fibras para a construção civil. EPUSP, São Paulo, 2000.

MISHRA, S.; MISRA, M.; TRIPATHY, S. S.; NAYAK, S. K. ; MOHANTY, A. K. **Potentiality of pineapple leaf fibre as reinforcement in PALF-polyester composite: surface modification and mechanical performance**. Journal of reinforced plastics and composites, vol. 20, 4 (2001), 321-334.

MOHANTY, A.K., M. MISRA, and L.T. DRZAL, "Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World". Journal of Polymers and the Environment, Vol. 0(1/2), (2002), 19-26.

MUKHERJEE, P. S.; SATYANARAYANA, K. G. **Structure and properties of some vegetable fibres. Part 2 Pineapple fibre (Anannus Comosus)**. Journal of Materials Science, 21 (1986), 51-56.

SATYANARAYANA, K. G. ; SUKUMARAN, K. ; KULKARNI, A. G. ; PILLAI, S. G. K. ; ROHATGI, P. K. **Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites**, Composites, 17 (4), october, (1986), 329-333.