



FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM A FIBRA DA FOLHA DO ABACAXIZEIRO

Alexandre, Márcio Eliel de O.¹, eliel@ifpb.edu.br
Ladchumananandasivam, Rasiah², rasiah@ufrnet.br
Nunes, Van M. S.¹, van.morrison@hotmail.com
Sales, Halison S.¹, halisonpolga@hotmail.com
Almeida, Rodrigo J. S.¹, rodrigo_asj@msn.com
Morais, Julianderson C.¹, mecanica1999@hotmail.com

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Curso de Mecânica, Av. 1º de maio 720, Jaguaribe, João Pessoa, Paraíba, (83) 3208.3063

² Universidade Federal do Rio G. do Norte (UFRN), Curso de Engenharia Têxtil,

Resumo: *A produção de baixo custo energético com menos poluição e impacto ecológico, permitiram o desenvolvimento de novos materiais chamados de compósitos. Os compósitos são constituídos da combinação de dois ou mais materiais na escala macroscópica, onde um funciona como matriz e outro como reforço. As suas características e propriedades individuais são conservadas obtendo no conjunto características superiores as dos materiais individuais. O uso de fibras vegetais como reforço tem grande potencial econômico devido ao seu baixo custo, de fontes renováveis, biodegradabilidade, reciclabilidade e propriedades mecânicas satisfatórias. As propriedades dos componentes, a distribuição do reforço, as naturezas da interface fibra/matriz e a morfologia do compósito definem as propriedades específicas e o comportamento do material compósito. As fibras vegetais têm sido usadas como reforço em materiais compósitos na indústria mecânica, automobilística, equipamentos esportivos, naval, aeronáutica, civil, etc. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um compósito formado por uma matriz poliéster insaturado ortoftálica reforçada pela fibra da folha do abacaxizeiro. Também aperfeiçoar o processo de fabricação manual (Hand lay-up), analisando as propriedades mecânicas de tração, flexão e impacto dos componentes e do compósito. Isso em função do teor de fibras, do tratamento superficial das fibras, do comprimento das fibras e da pré-secagem das fibras. No processo de fabricação foi usado um molde metálico com base e tampa com método de laminação por compressão. O processo de fabricação manual tem como vantagens a simplicidade do processo, baixo investimento em moldes e equipamento, sem restrição ao tamanho das peças e flexibilidade do projeto, produzindo placas de compósitos de boa qualidade. Os valores máximos de resistência à tração, flexão e impacto dos compósitos foram obtidos no teor de fibras de 30%, no comprimento das fibras de 35 mm, com a pré-secagem e o tratamento superficial das fibras com NaOH.*

Palavras-chave: *Compósitos. Matriz polimérica. Fibras da folha do abacaxizeiro.*

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de fibras vegetais data dos primórdios da civilização humana. Os Persas já usavam as fibras associadas ao solo para construções de tijolos para habitações, os Egípcios na fabricação de tijolos, resultando em paredes com bom isolamento térmico e boa aparência estética como mostram vários trabalhos (Satyanarayana et al, 1986 e de Mishra et al, 2001).

Ao longo da última década, importantes indústrias como os automotivos, 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 como as fibras de vidro ou de aramida, por fibras naturais como é o caso da carga.

Comparativamente com fibras inorgânicas, as fibras naturais apresentam uma série de vantagens, pois, estão em menor densidade e preço, causam menos abrasão à transformação de equipamento, são relativamente inofensivas, renovável e biodegradável e ainda as suas propriedades mecânicas são comparáveis aos de fibras inorgânicas (Satyanarayana, 1986) e (George et al., 1998).

Todas estas propriedades têm feito das fibras naturais um recurso natural muito atraente para aplicações nas indústrias, principalmente a indústria automobilística, que atualmente vem buscando novos produtos biocompósitos, com propriedades mecânicas comparáveis para termoplásticos reforçados com fibra de vidro por serem mais leves e por não trazer, dentre outros fatores, problemas de saúde aos trabalhadores como mostram os trabalhos de George et al (2001) e de Mohanty et al (2002).

Diante destas vantagens a utilização dos recursos naturais de material vegetal é uma ótima alternativa para substituir o plástico, espuma e fibras sintéticas por serem recursos não renováveis, não-degradáveis e de alto custo. As fontes de fibras vegetais são encontradas em várias partes das plantas tais como, caule, raiz, folhas e frutos. As fibras são estudadas e aplicadas 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, como mostrada em vários trabalhos (Devi et al, 2004, 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 para as futuras gerações. Diante dessa realidade, atitudes como reciclagem e a biodegradabilidade dos materiais são apontadas como alternativas de aproveitamento dos recursos naturais. A fibra da folha do abacaxizeiro é 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, como mostram os trabalhos de Carvalho et al (2004) e John e Agopyan, (2000 e 2001).

As fibras da folha do abacaxi (*Ananas Comosus*) 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, para reforço em diversos tipos de materiais compósitos como os mostram vários trabalhos (Devi et al, 1997, Doraiswamy, 1993, Choairy, 1985 e Mukherjee e Satyanarayana, 1986).

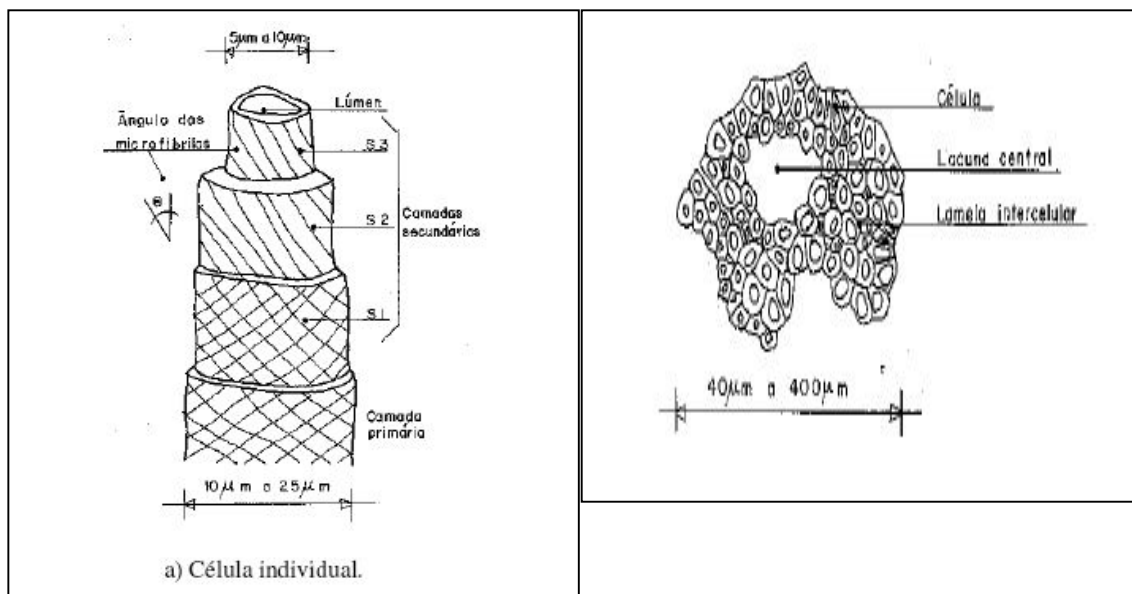
Nesse trabalho foram estudadas as propriedades físicas, mecânicas e microestruturas das fibras de abacaxi em matriz polimérica como mostra o trabalho Alexandre et al, (2004).

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, como mostrado no trabalho de Doraiswamy e Chellamani, (1993).

A Figura 1 (a) apresenta um esquema de uma microfibrila, onde podem ser vistas as camadas primárias e secundárias e um vazão central chamado de lúmen. A camada secundária é dividida em três subcamadas (S1, S2 e S3). A espessura da microfibrila é em torno de 10 a 25 μm . É na camada S2 que se define o chamado ângulo microfibrilar, dado importante na definição da resistência da fibra. A figura (1) (b) mostra seção transversal da fibra destacando as células, a lacuna central e as lamelas. A espessura da microfibrila é em torno de 40 a 400 μm , como mostrado no trabalho de Choairy, (1985).



a) Célula individual **b) Seção transversal da fibra**

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

A fibra empregada foi a da folha da planta do abacaxizeiro (*Ananas Comosus (L.) Merr.*), de variedade “Pérola”, com um ano e meio de plantação, selecionadas e extraídas mecanicamente através de uma máquina defibradeira. As propriedades e características das fibras das folhas do abacaxizeiro estão relacionadas Tabela (1).

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 e Chellamani, (1993); Mukherjee & Satyanarayana, (1986) e 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 como mostra o trabalho de Mukherjee e Satyanarayana, (1986).

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 alquídidos, 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 foi analisada a espessura das fibras, usando 20 fibras *in natura*, com 10 medidas ao longo do seu comprimento, com um micrômetro de precisão e cinco fibras, com cinco 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 foi analisada 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 e preparadas num dispositivo preparador de mantas, cortada nas dimensões 150x200 mm com e sem pré-secagem em forno e prensadas num tempo de 30 minutos.

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 oito toneladas e desmoldagem após 4 horas.

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 1 mm/min e distâncias entre garras de 60 mm) para resistência à flexão ASTM D790 (com velocidade de 1 mm/min) e resistência ao impacto ASTM D256 (com pêndulo de 2,75 J).

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 mecânico e posteriormente penteadas (cardadas) e secas ao ar livre, apresentando boa qualidade como mostra a Figura (2). A medida da 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*

A microscopia óptica (a) é apresentada na figura 3 (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 é mostrada na figura 3 (b) da superfície da fibra mostrando os nós na superfície da fibra, indicando a estrutura de feixes de fibras, onde cada feixe consiste de várias fibrilas unidas pela lignina, caracterizando também um compósito.

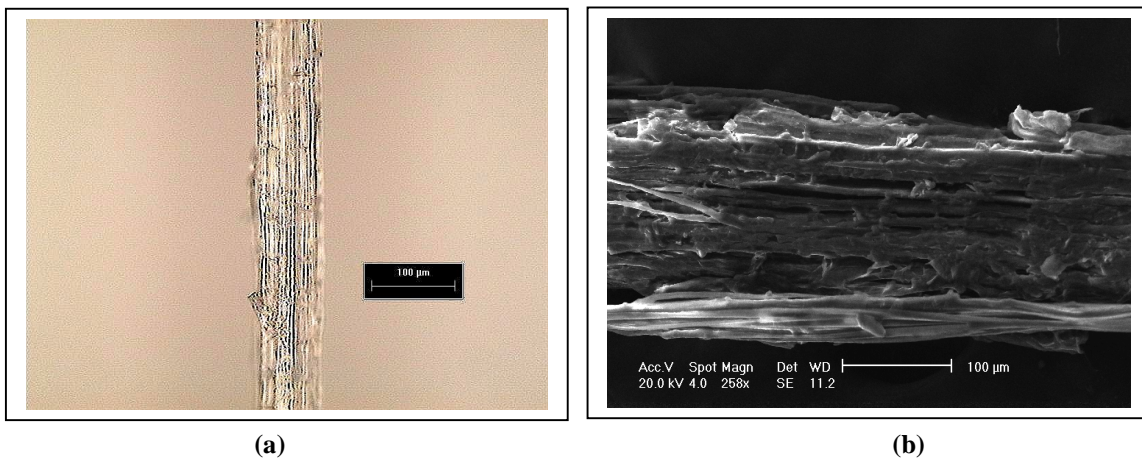


Figura 3 – Microscopia óptica (MO) (a) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV) (b).

As análises térmicas da fibra mostraram os seguintes resultados. Foi observado através das curvas TGA (análise Termogravimétrica) /DTG (Termogravimetria diferencial), 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. A partir de 100°C há uma pequena queda na curva devido à perda característica de água presente.

As placas de compósito polimérico foram moldadas com boa uniformidade de distribuição do reforço e com adequado acabamento superficiais, como mostra a Figura (4).

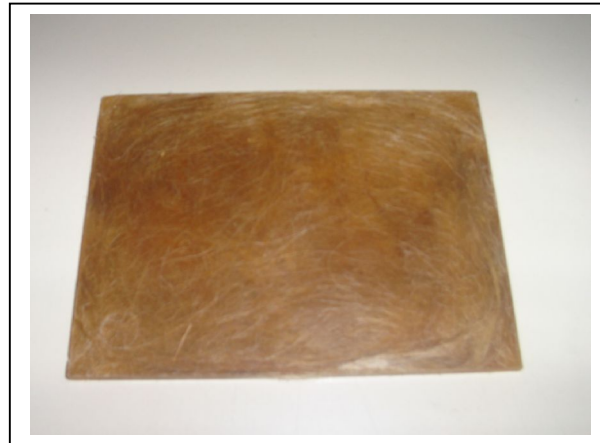


Figura 4 – Placa do compósito polimérico reforçado com a fibra da folha do abacaxizeiro

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 (teor de 30%) e 70MPa no teor de 30% (comprimento de 35mm).

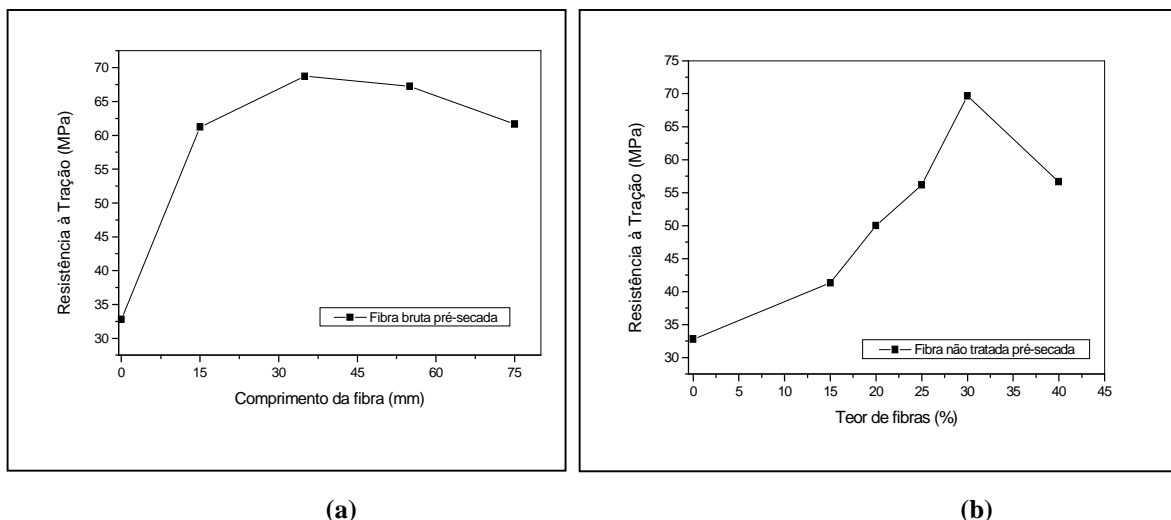


Figura 5 – Resistência à tração das fibras em função do comprimento (a) e do teor das fibras (b).

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 (teor de 30%) e 3,7 GPa no teor de 30% (comprimento de 35mm).

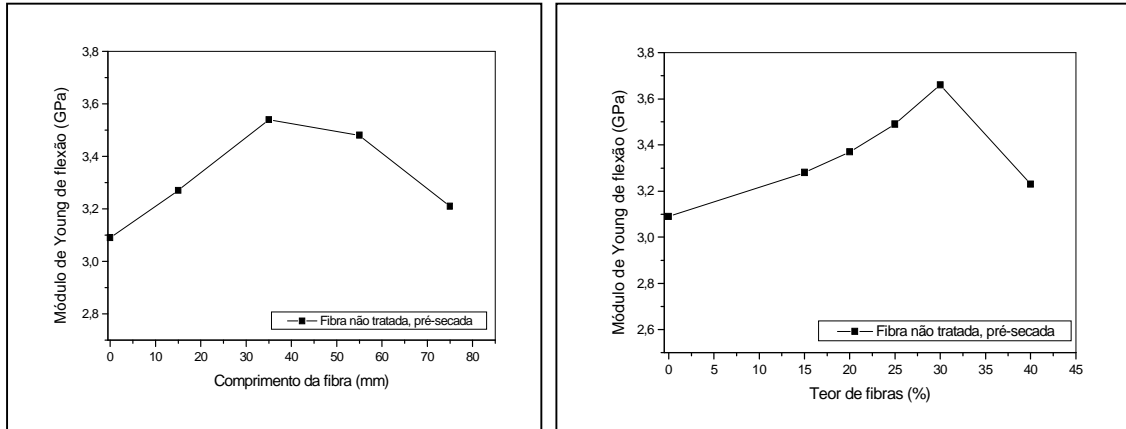


Figura 6 – O módulo de Young das fibras em função do comprimento (a) e do teor das fibras (b).

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 (teor de 30%) e de 88 J/m no teor de 30% (comprimento de 35mm).

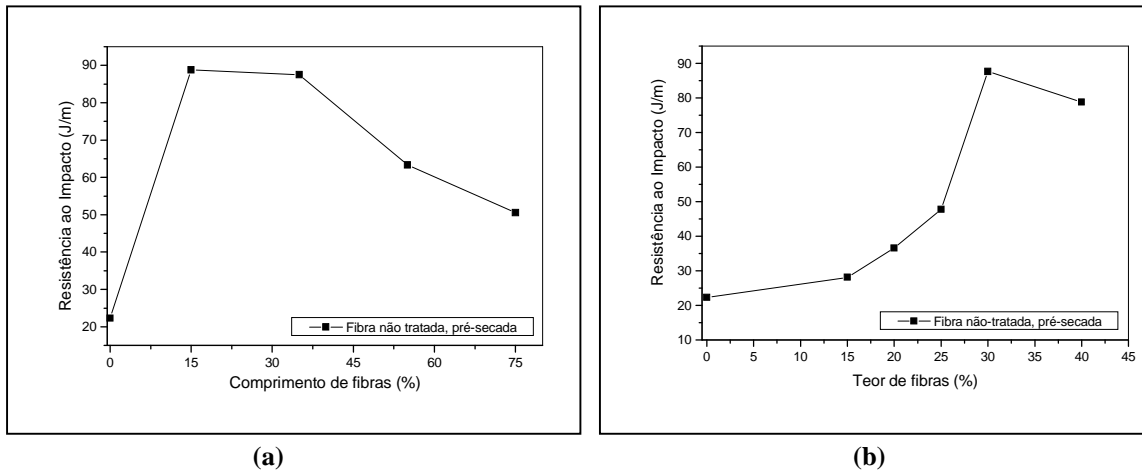


Figura 7 – Resistência ao impacto das fibras em função do comprimento (a) e do teor das fibras (b).

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 à 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, onde abaixo desse comprimento crítico, as pontas das fibras se tornam pontos concentradores de tensão, causando a perda de propriedades mecânicas do compósito.

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 físico-mecânicas que possibilitam a sua aplicação como reforço de matrizes plásticas aplicadas na indústria mecânica em geral.

6. REFERÊNCIAS

- Alexandre, M. E. O., Ladchumananadasivam, R., Veríssimo, S. A., Menezes, P. L., Batista, J. H., Araújo, R. C., 2004, "Fibra da folha do abacaxi (FFA) como reforço para compósito de matriz Poliéster, Anais do II SIENITEX, Natal, Brasil.
- ASTM – Standards test method for tensile properties of fiber-resin composites. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, ASTM D-3039-82, Philadelphia, 1982.
- ASTM, 1986 – "Standards test method for flexural properties Annual Book of ASTM Standards", American Society for Testing and Materials, ASTM D-790-86, Philadelphia.
- ASTM, 1990 "Standards test method for impact properties. Annual Book of ASTM Standards", American Society for Testing and Materials, ASTM D-256-90, Philadelphia.
- Carvalho, L. H., Ladchumananadasivam, R., Alexandre, M. E. O., Cavalcanti, W. S., 2004 Propriedades de compósitos poliéster/fibra da folha do abacaxi. Anais do SULMAT 2004, Joinville, SC, Brasil.
- Carvalho, L. H., Ladchumananadasivam, R., Alexandre, M. E. O., Cavalcanti, W. S., 2004, "Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados por fibra da folha do abacaxi", Anais do ISNAPOL2004, São Pedro, SP, Brasil.
- Choairy, S. A., 1985, "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
- Devi, L. U.; Bhagawan, S. S.; Thomas, S., 1997, "Mechanical properties of pineapple leaf fiber-reinforced polyester composites", J. Appl. Polym. Sci. Vol. 64 (1997), pp. 1739-1748.
- Doraiswamy, I. ; Chellamani, P., 1993, "Pineapple leaf fibre. The Textile Institute - Manchester UK, Vol.24, pp. 1-37.



- George, J., Baghawan, S. S. Thomas, S., 1998, “ Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre”. Composites Science and Technology, Vol. 58, pp. 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.
- John, Vanderley M. ,Agopyan, Vahan., 2001, “Reciclagem de resíduos da construção. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de São Paulo, USP: São Paulo.
- Mishra, S., Misra, M., Tripathy, S. S., Nayak, S. K., Mohanty, A. K., 2001, “Potentiality of pineapple leaf fibre as reinforcement in PALF-polyester composite: surface modification and mechanical performance”, Journal of reinforced plastics and composites, Vol. 20, pp. 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., 1986, “Structure and properties of some vegetable fibres. Part 2 Pineapple fibre (Anannus Comosus)”, Journal of Materials Science, Vol. 21, pp. 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”, Vol. 17, pp. 329-333.

MANUFACTURE OF POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH THE PINEAPPLE LEAF FIBER

Abstract: The production of low cost energy with less pollution and ecological impact, allowed the development of new materials called composite. The composites are of a combination of two or more materials on the macroscopic scale, where one acts as the matrix and the other as reinforcement. The features and individual properties are preserving obtaining in all the superior characteristics of the individual materials. The use of natural fibers as reinforcement has great economic potential due to its low cost, renewable resources, biodegradability, recyclability and satisfactory mechanical properties. The properties of the components, the distribution of reinforcement, the nature of the fiber/matrix interface and the morphology of the composite define the specific properties and behavior of the composite material. Natural fibers have been used as reinforcement in composite materials in mechanical engineering, automobile, sports equipment, shipbuilding, aeronautics, and so forth. The aim of this study was to develop a composite composed of an orthophthalic unsaturated polyester matrix reinforced by the pineapple leaf fiber. Also improve the manufacturing process manually (hand lay-up), examining the mechanical properties of tensile, flexural and impact of the components and composite. This is as a function of fiber content, surface treatment of fibers, the fiber length and pre-drying of the fibers. In the manufacturing process was used with a cast metal base and cover with lamination method of compression. The manufacturing process manual has the advantages of process simplicity, low investment in molds and equipment, irrespective of the size of the parts and design flexibility to produce plates of composite with good quality. The maximum values of tensile, flexural and impact of the composites were obtained in the fiber content of 30%, in the fiber length of 35 mm, with the pre-drying and surface treatment of fibers with NaOH.

Keywords: Composites. Polymeric matrix. Pineapple leaf fiber.