



III-225 - RECICLAGEM MECÂNICA DE POLIPROPILENO VISANDO A OBTENÇÃO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO COM FIBRAS DE BANANEIRA E SISAL

Fausto Lopes Duarte Müller⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental – UNISC, membro do grupo de Pesquisa em Reciclagem de Plásticos, bolsista PUIC.

Cláudia Mendes Möhlmann⁽²⁾

Professora do Departamento de Química e Física da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC; Doutoranda em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGEM/UFRGS; Mestre em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina; Graduada em Física pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

Adriane Lawisch Rodríguez⁽³⁾

Professora do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC; Doutora em Engenharia pela Universidade Tecnológica de Berlim, Alemanha; Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Escola de Engenharia da UFRGS; Engenheira Química pela Escola de Engenharia da PUCRS.

Liane Möhlmann Kipper⁽⁴⁾

Professora do Departamento de Química e Física da Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC; Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina; Mestre em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina, Física pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Rua Vereador Ivo Cláudio Wiegel, 276 – Bairro Universitário – Santa Cruz do Sul – RS – 96815555– Brasil – Tel: (51)3717-6230 – e-mail: faustomuller@yahoo.com.br

RESUMO

A reciclagem de materiais termoplásticos apresenta-se como um relevante tema de estudos e pesquisas por se tratar de uma possibilidade que apresenta baixo custo, boas propriedades mecânicas, fácil processamento e diversas aplicações. O polipropileno, amplamente utilizado pela indústria, é um termoplástico passível de amplo reaproveitamento. Uma das possibilidades de aplicação deste polímero reciclado é em compósitos reforçado com fibras vegetais. O uso de fibras vegetais tem crescido nos últimos anos, por serem recursos renováveis e apresentarem propriedades interessantes para este tipo de uso. Assim sendo, este trabalho apresenta os resultados do estudo realizado sobre a reciclagem de polipropileno para aplicação em compósitos com fibras vegetais – bananeira e sisal. Para o processamento foi utilizada a moldagem por compressão a quente. As propriedades das amostras foram avaliadas, e os resultados encontrados indicaram a possibilidade de aplicação deste tipo de material.

PALAVRAS-CHAVE: reciclagem de materiais, polipropileno e fibras, bananeira e sisal, resistência dos materiais.

INTRODUÇÃO

Muitas são as pesquisas e estudos que vem sendo desenvolvidos em relação à reciclagem de materiais. Há uma crescente necessidade de reaproveitamento dos resíduos industriais, principalmente os termoplásticos, como o polipropileno, utilizado em grande escala na esfera industrial. O reaproveitamento desses materiais representa, no atual contexto, uma gama de possibilidades, que se viabilizadas podem representar significativas alternativas no controle da poluição ambiental. A utilização de fibras vegetais pode representar uma alternativa de uso de recursos renováveis e abundantes na natureza.

A palavra polímero tem origem do grego *poli* (muitos) e *meros* (unidade de repetição). Então, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) unidades de repetições chamadas meros, ligadas por ligação covalente. Os polímeros podem ser divididos em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras. (CANEVAROLO, 2002).



Mano (1999) divide os plásticos em duas grandes categorias importantes: termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos podem ser aquecidos, conformados, resfriados, novamente aquecidos e conformados sem que haja perda significativa de suas propriedades físicas, sendo passíveis de serem solubilizados com solventes específicos. Nesta categoria os mais conhecidos são; o polietileno, polipropileno, acrílico, poliamidas, poli (cloreto de vinila), etc.

Os plásticos conhecidos como termofixos ou termorrígidos correspondem a 20% do total de plásticos consumidos no Brasil, e são aqueles que uma vez conformados, por um dos processos usuais de transformação, não podem ser mais reprocessados, por não “amolecerem” ou fundirem-se mais, impedindo uma nova moldagem. (PIVA, 2004)

Apesar de apenas os termoplásticos serem considerados recicláveis por métodos mecânicos, segundo estudos de Spinacé (2005), também é possível a reciclagem de termofixos que podem ser usados como carga de reforço, ou incorporados para confecção de outros termofixos.

POLIPROPILENO (PP)

Consiste em um termoplástico, branco, opaco. Dependendo da cristalinidade pode ser transparente; se de baixa cristalinidade é biorientado, possui alto brilho. Com peso molecular entre 80.000 e 500.000 g/mol, densidade: 0,90 g/cm³ e temperatura de fusão de 165 a 175 °C. Na Figura 1 é apresentado o polímero do polipropileno (PIVA, 2004).

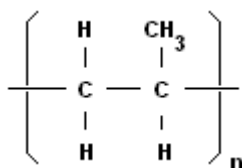


Figura 1 – Polímero do polipropileno (Mano, 1991).

O polipropileno (PP) é um dos termoplásticos que apresenta larga faixa de aplicações, desde a produção de embalagens até a utilização na indústria automotiva. Segundo Zattera et al. (2003), a fração de material polimérico no resíduo sólido domiciliar corresponde a 14,6% do total, sendo 5% de PP. Características como baixo custo, baixa densidade e alta versatilidade (BONELLI et al, 2001), aliado ao baixo impacto ambiental causado durante o processo de polimerização do polipropileno, fazem deste polímero um material de grande importância tecnológica e industrial.

A matriz termoplástica de polipropileno é considerada a mais versátil para compósitos de fibra naturais, por possuir como baixa densidade, baixo custo e favorável processabilidade, resistência à tração, resistência ao calor e a corrosão, comparadas com outros termoplásticos. (SAIN, 2005).

A reciclagem mecânica do polipropileno é largamente utilizada, resultando em um material com boas propriedades, e conseqüentemente passível de aplicações nobres.

RECICLAGEM MECÂNICA

Neste trabalho, visando a revalorização do PP pós-consumo, foram utilizados processos envolvidos na reciclagem mecânica de termoplásticos. A reciclagem mecânica é um processo que consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para o reaproveitamento do material pós-consumo ou descartado, transformando este material em grânulos para a fabricação de outros produtos.

A reciclagem mecânica pode ser dividida em dois tipos: resíduos industriais e pós-consumo. As etapas básicas que constituem tanto o processo industrial quanto pós-consumo são: moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação. (PIVA, 2004).



Conforme Strapasson (2005), as vantagens da reciclagem mecânica de polímeros incluem a redução do uso de petróleo e energia consumidos em comparação com a síntese de polímeros virgens, a redução de deposição de resíduos plásticos, em lixões municipais e a geração de emprego e renda.

No processo de reciclagem mecânica de resíduos industriais, as operações unitárias mais empregadas são a moagem e a extrusão. O processo de aglutinação também pode ser utilizado. A principal vantagem do uso de resíduos industriais consiste na composição polimérica geralmente definida, sem variações, com baixa contaminação por corpos estranhos. Com isso, podem ser eliminados, os processos de lavagem e secagem, dependendo do estado do resíduo. A sua desvantagem está na dificuldade de se conseguir este material, pois resíduos industriais são de difícil acesso por serem muito disputados. Na figura 2, é exemplificado o processo de reciclagem mecânica de resíduo pós-consumo (PIVA, 2004).

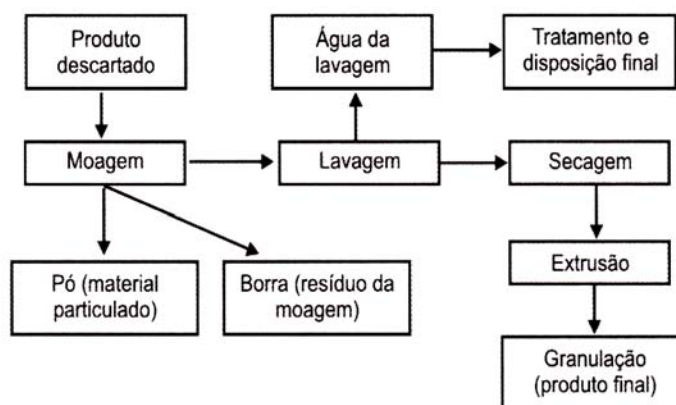


Figura 2 – Processo de reciclagem mecânica de resíduo pós-consumo (PIVA, 2004).

FIBRAS VEGETAIS E COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Segundo estudos de Tanobe (2005) e Paiva (1999), as fibras vegetais são indicadas como reforço (fase dispersa) para compósitos com amplo interesse por serem recursos renováveis (principalmente nos trópicos), mas também por oferecerem várias vantagens em relação aos inorgânicos, isto é, baixa densidade, alta deformabilidade, baixa abrasividade aos moldes e aos equipamentos de mistura e apresentando ainda baixos custos.

É crescente o interesse na utilização de materiais lignocelulósicos, principalmente de fibras vegetais (sisal, juta, coco, banana, curauá), como reforço em compósitos de matriz termofixa ou termoplástica. Tal interesse nos compósitos, esta relacionado às propriedades e características das fibras vegetais: baixo custo, baixa densidade, flexibilidade entre outras. A estrutura e a natureza da interface fibra matriz tem influência nas propriedades mecânicas e físicas dos compósitos, pois é através dela que ocorre transferência de carga da matriz para a fibra (TITA, 2002).

O interesse crescente em vários materiais naturais para reforço tem aumentado as pesquisas nesta área. Fibras naturais como sisal, folha de abacaxi, de palmeira são investigadas como candidatas ideais para reforço de matrizes poliméricas. (POTHAN, 2003).

METODOLOGIA

EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DAS FIBRAS

As fibras de sisal estavam acondicionadas em rolo e foram cortadas no comprimento de 2 cm e separadas (Figura 3). Já as de bananeira foram doadas pela *Muza Brasil* (Cooperativa de Comercialização de Frutas e Artesanato da cidade de Luís Alves – SC), tendo sido realizada a sua extração manual e após o corte no mesmo comprimento que as de sisal. As capas do pseudocaule da bananeira e as fibras extraídas foram pesadas para determinação do rendimento de fibras extraídas desta parte específica. Nas figuras 4 e 5 são apresentadas as imagens do material vinculado à extração das fibras de bananeira, capa do pseudocaule de bananeira, fibras extraídas, e resíduos da extração, respectivamente.



Figura 3 – Fibras de sisal cortadas a partir do rolo comercial.



Figura 4 – Foto da capa do pseudocaule de bananeira.

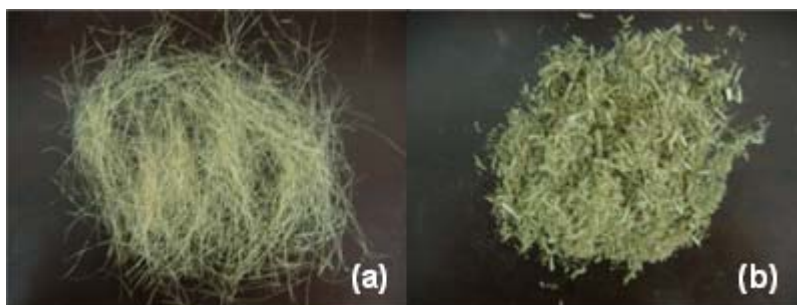


Figura 5 –Fibras de bananeira cortadas(a) e resíduo da extração das fibras (b).

PREPARAÇÃO DA MATRIZ (PP)

O polipropileno pós-consumo foi preparado (revalorizado) a partir de garrafas de água mineral. Esse preparo envolveu a limpeza, moagem em moinho de facas (Mecanofar MF300), extrusão em extrusora monorosca SEIBT e a obtenção de *pellets* da Planta Piloto de Reciclagem de Plásticos da Unisc.

PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Para o processamento dos compósitos foram utilizados diferentes teores das duas fibras separadas e/ou misturadas, como apresentado na Tabela 1, onde são apresentadas as composições e codificações das amostras.



Tabela 1 – Codificação e composição das amostras.

Código	Massa Bananeira (%)	Massa Sisal (%)	Massa total (%)	Massa PP (%)
5B5S	5	5	10	90
5B	5	0	5	95
5S	0	5	5	95
PP	0	0	0	100

Utilizando o homogeneizador MH-100 de laboratório (MH Equipamentos Ltda. – misturador tipo *dryser*), o primeiro passo foi colocar o PP na velocidade de rotação mais baixa por um minuto seguida de aumento da velocidade de rotação por 10 segundos (obtenção do PP fundido).

Após, adicionou-se as fibras (obedecendo os percentuais previstos), misturando os dois materiais, com menos quebra das fibras. As misturas obtidas foram moídas na Planta Piloto de Reciclagem de Plásticos da Unisc, utilizando o moinho de facas (Mecanofar MF300).

A moldagem por compressão a quente, em 180°C, na prensa MH-P 20 MT/PR. O resfriamento ocorreu à temperatura ambiente. Nas placas moldadas foram marcados os corpos de prova para os diferentes ensaios, seguindo norma específica, e as placas foram cortadas no laboratório de maquetaria do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unisc.

AValiação das Propriedades

As propriedades das amostras obtidas foram avaliadas através dos ensaios, segundo procedimento descrito nas normas técnicas específicas como segue:

- Ensaio de tração: norma ASTM-D638, com velocidade de ensaio de 5 mm/min, realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos EMIC DL 10000;
- Ensaio de flexão: norma ASTM-D790-03, com velocidade de ensaio de 5,3 mm/min, realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos EMIC DL 10.000;
- Dureza: norma ASTM-D2240, utilizando-se o equipamento Durômetro Shore GSD – 702 Teclock Politest;
- Absorção de água: norma ASTM-D570.
- Densidade: seguindo procedimento descrito na norma ASTM D618-96 em balança analítica para ensaio de densidade da marca Import Denver Instrument Company.

RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentadas as massas da capa do pseudocaule da bananeira, das fibras extraídas e do resíduo gerado, e os respectivos rendimentos de fibras por lote avaliado. As capas recebidas foram divididas em 17 lotes visando facilitar o controle de massa de fibra extraída. O rendimento de fibras foi alto, uma vez que, foi utilizada apenas a capa já seca do pseudocaule.



Tabela 2 – Rendimento da extração das fibras de bananeira.

Lotes	Peso da capa (g)	Peso de fibras (g)	Peso de resíduo (g)	Rendimento o (%)
1	13,61	4,05	7,78	70,24
2	22,81	6,71	12,92	70,58
3	8,28	2,51	3,55	69,69
4	21,07	6,70	14,02	68,20
5	7,80	2,10	5,00	73,08
6	12,61	3,80	7,20	69,87
7	13,95	8,80	11,12	36,92
8	37,92	8,23	26,04	78,30
9	34,14	11,27	21,20	66,99
10	22,87	10,98	9,74	51,99
11	13,06	4,25	7,33	67,46
12	19,14	7,15	10,93	62,64
13	22,05	6,65	14,01	69,84
14	19,04	5,16	11,50	72,90
15	35,87	6,48	26,62	81,93
16	40,38	8,04	28,24	80,09
17	17,07	4,95	10,51	71,00
Massa Total	361,67	107,83	227,71	
Rendimento médio				70,186

RESULTADOS DOS ENSAIOS

ENSAIO DE TRAÇÃO

No gráfico da Figura 6 são apresentados os resultados do ensaio de tração – parâmetro força na força máxima, e na Figura 7 os resultados do parâmetro tensão. Observou-se que a amostra de PP puro foi a que apresentou maior resistência ao tracionamento, tendo ocorrido perda nesta propriedade com a inclusão das fibras. A maior perda ocorreu para a amostra com fibras de bananeira.

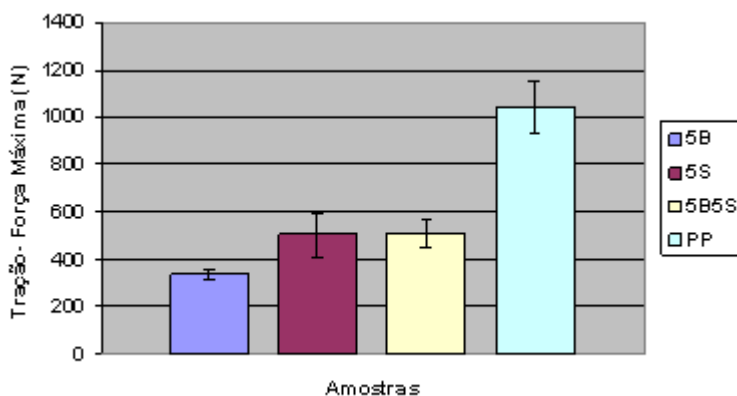


Figura 6 - Resultados do ensaio de tração – parâmetro força na força máxima.

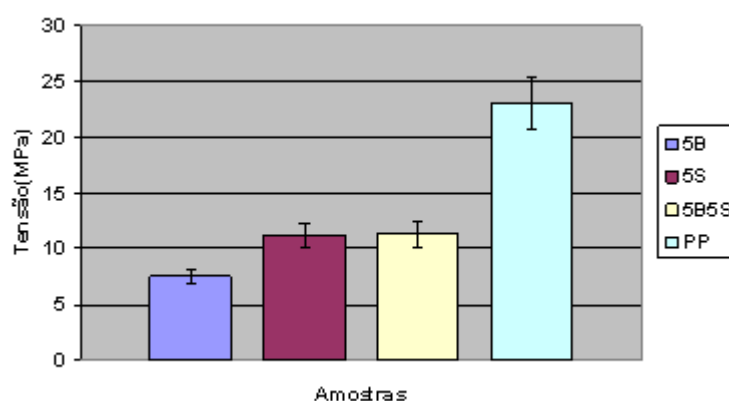


Figura 7 - Resultados do ensaio de tração – parâmetro tensão.

Na Figura 8 são apresentados os resultados do ensaio de tração, parâmetro módulo de elasticidade. Os compósitos com fibra de bananeira apresentaram maior rigidez do que os com fibra de sisal. E o compósito com mistura das duas fibras (maior teor de fibras) apresentou o maior módulo dentre os compósitos.

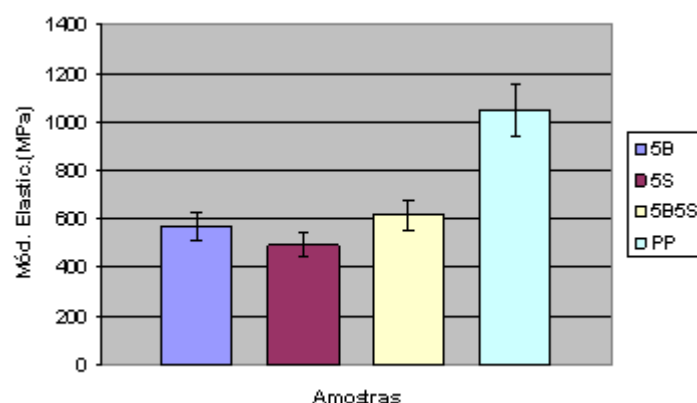


Figura 8 - Resultados do ensaio de tração -módulo de elasticidade.

ENSAIO DE FLEXÃO

Os resultados do ensaio de flexão-tensão são mostrados na Figura 9, onde se verificou que o compósito com fibra de sisal apresentou melhor resistência em flexão do que o compósito com fibra de bananeira.

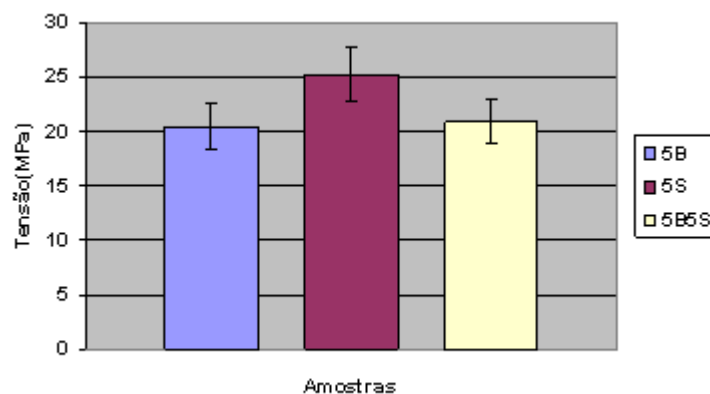


Figura 9 - Resultados do ensaio de flexão- parâmetro tensão.

Para os resultados do módulo de elasticidade em flexão (Figura 10) foram observadas menores diferenças entre as amostras de compósitos, sendo que a amostra com maior teor de fibras (mistura) foi a que apresentou maior rigidez.

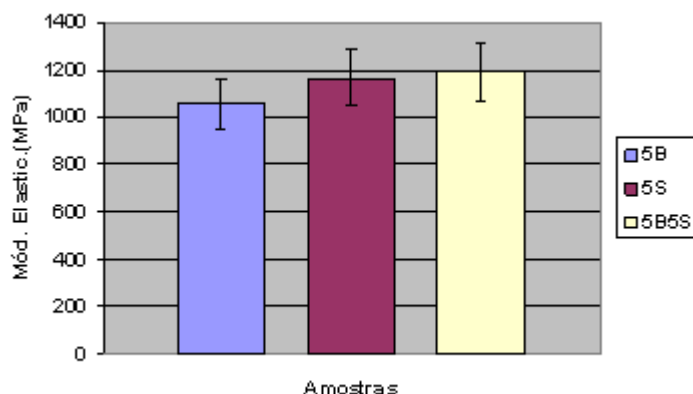


Figura 10 - Resultados do ensaio de flexão- módulo de elasticidade.

ENSAIO DE DUREZA

Foi observado (Tabela 4) que a inclusão das fibras na matriz de PP pós-consumo causou a diminuição da dureza superficial do material. A amostra com fibra de sisal foi a que apresentou menor diminuição deste parâmetro.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de dureza.

Amostra	Dureza (Shore D)
5S	99
5B5S	98
5B	92
PP	102

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Na Figura 11 são mostrados os resultados do percentual de água absorvida neste ensaio em um tempo de 24h de imersão das amostras. Observou-se que a inclusão das fibras promoveu o aumento da absorção de água, sendo que a amostra com fibras de sisal apresentou menor teor de água absorvida.

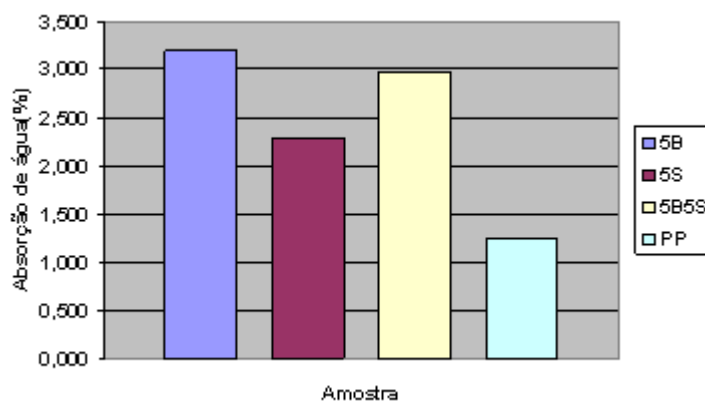


Figura 11 – Resultados do ensaio de absorção de água.



ENSAIO DE DENSIDADE

Através deste ensaio foram determinados valores entre 0,85 e 0,90 g.cm⁻³, não tendo ocorrido variação significativa entre os resultados encontrados para as diferentes amostras avaliadas.

CONCLUSÃO

O uso de fibras vegetais na reciclagem de polímeros para a obtenção de compósitos termoplásticos é uma boa alternativa.

Os resultados mostraram que a inclusão das fibras não proporcionaram melhora nas propriedades físicas e mecânicas dos materiais analisados. A amostra de PP puro apresentou maior resistência aos ensaios de tração, tendo ocorrido perda nesta propriedade com a inclusão das fibras. Mas isso não impede a aplicação deste tipo de material, pois alguns resultados indicaram que maiores teores de fibras aumentam algumas propriedades, e além disso a aplicação pode ser em produtos em que não seja exigida alta resistência mecânica.

A utilização de fibras de bananeira é uma ação que valoriza este tipo de material, cuja extração é realizada por cooperativas de produtores ou de suas famílias, contribuindo para geração de emprego e renda da população. Estudos complementares são necessários, envolvendo variação de comprimento de fibras, utilização de agentes compatibilizantes, bem como o aumento de teor de fibras nos compósitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BONELLI CMC, MARTINS AF, MANO EB, Beatty CL. Effect of recycled polypropylene on polypropylene/high-density polyethylene blends. *J. App. Polymer Science*, v. 80, n.8, p. 1305-1311, 2001.
2. CANEVAROLO, Sebastião V. Jr. *Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: Artliber Editora, 2002.
3. COUTINHO, F.M.B.; MELLO, I.L.; MARIA, L.C. de S. *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações*, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol 13, nº 1, p. 1-13, 2003.
4. GANAN, P. AND MONDRAGON, I. Effect of Fiber Treatments on Mechanical Behavior of Short Figue Fiber-reinforced Polyacetal Composites. *Journal of Composite Material*, v. 39, n. 7, p. 633-644, 2005.
5. GUERRICA-ECHEVARRIA, G, EGUIZÁ-BAL, JI and NAZÁBAL, J. Effects of reprocessing conditions on the properties of unfilled and talc-filled polypropylene, *Polymer Degrad. and Stab.*, v. 53, p. 1-8, 1996.
6. MANO, E. B. *Polímeros como Materiais de Engenharia*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1991.
7. Mishra, S. N.; Patil, Y.P. The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant-fiber-reinforced novolac composites. *Composites Science and Technology*, v. 60, p. 1729-1735, 2000.
8. PAIVA, J. M. F.; TRINDADE, W. G.; FROLLINI, E. Compósitos de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 9, n.4, p 170-176. 1999.
9. PIVA, A. M. WIEBECK, H. *Reciclagem de Plástico: como fazer da reciclagem um negócio lucrativo*. São Paulo: Artliber Editora, 2004.
10. POTHAN, L. A., S. THOMAS, et al. The role of fibre/matrix interactions on the dynamic mechanical properties of chemically modified banana fibre/polyester composites. *Composites*, v. 37, p. 1260-1269, 2006.
11. POTHAN, L. A., Z. OOMMEN, et al. Dynamic mechanical analysis of banana fiber reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, v. 63, p. 283-293, 2003.
12. SAIN, M. et al. Interface Modification and Mechanical Properties of Natural Fiber – Polyolefin Composite Products. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 24, n. 2, p.121-130, 2005.
13. SPINACÉ, M. A. de S.; DE PAOLÍ, M. A.; A Tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, vol 28, nº 1, p 65-72, 2005.
14. STRAPASSON, R. et. al. Tensile and impact behavior of polypropylene/low density polyethylene blends. *Polymer Testin*, v. 24, p. 468-473, 2005.
15. SYDENSTRICKER, T. H. D.; MOCHNAZ, S.; AMICO, S. C. Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. *Polymer Testing*, v. 22, p. 375-380, 2003.



16. TANOBE, V. O. A.; et. al. A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourds (*Luffa cylindrical*). *Polymer Testing*, v. 24, p. 474-482, 2005.
17. TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matriz Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibra de Bagaço de Cana de Açúcar. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 12, p. 228-239, 2002.
18. TSERKI, V., N. E. ZAFEIROPOULOS, et al. A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. *Composites*, v.36, p. 1110-1118, 2005.
19. VÁZQUEZ, A.; DOMÍNGUEZ, V.A. Bagasse Fiber-Polypropylene Based Composites. *Journal of Thermoplastic Composites Materials*, v. 12, p. 447-497, 1999.
20. ZATTERA, A.J.; BIANCHI, O.; VIEIRA, C. A. B.; BRANDALISE, R. N.; ZENI, M.; FERREIRA, C. A. Estudo sobre a confecção de misturas poliméricas utilizando resíduos na indústria calçadista. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte, p. 815-816, 2003.