

Compósitos de HDPE com Resíduos de Fibras Têxteis. Parte I: Caracterização Mecânica

Maira Finkler, Patrícia Scapini, Estevão Freire, Ademir J. Zattera, Mara Zeni
Grupo de Polímeros, LPol, UCS

Resumo: Neste trabalho são apresentados e discutidos os resultados das propriedades mecânicas de novos materiais compósitos preparados com resíduos de fibras têxteis poliméricas e de polímeros *commodities*. As fibras naturais oferecem vantagens sobre as sintéticas, em termos de propriedades mecânicas e térmicas. Os compósitos foram preparados a partir da mistura de polietileno de alta densidade (HDPE) e resíduos de fibras têxteis (50% algodão /50% acrílico) em teores crescentes de 10 a 40%, em um misturador de alta velocidade, utilizando *Surlyn 2601*, *Polybond 3009* e *Polybond 1009* como agentes compatibilizantes. Corpos-de-prova para ensaios de tração, flexão e impacto foram produzidos a partir de chapas obtidas em uma prensa hidráulica. Os compósitos que utilizaram agentes compatibilizantes apresentaram os melhores resultados de resistência à tração e à flexão, principalmente com 5% do agente *Polybond 3009* e 20 a 40% de resíduos de fibras têxteis.

Palavras-chave: *Reciclagem, fibras têxteis, polietileno de alta densidade.*

HDPE Composites with Textile Fibers Waste. Part I: Mechanical Characterization

Abstract: In this work, results of mechanical properties of new composites based on textile fiber residues from clothing industry and commodity polymers are discussed. Natural fibers offer some advantages over synthetic ones, regarding mechanical and thermal properties. The composites were produced by mixing high density polyethylene with the textile fibers (50% cotton /50% acrylic) in increasing contents, from 10 to 40% in a thermokinetic mixer, using *Surlyn 2601*, *Polybond 3009* and *Polybond 1009* as coupling agents. The tensile, flexural and impact samples were produced by cutting sheets obtained in a hydraulic press. The composites with coupling agents showed good results of tensile and flexural strength, mainly with 5% of *Polybond 3009* and 20-40% of textile fiber residues.

Keywords: *Recycling, textile fibers, high density polyethylene.*

Introdução

A disposição pós-uso de resíduos de fibras sintéticas e materiais poliméricos reforçados com fibras em aterros dos pólos têxteis, tem acarretado problemas ao meio ambiente. Uma alternativa que tem sido proposta para minimizar o problema é o desenvolvimento de materiais obtidos a partir de fontes renováveis, tais como compósitos formados de fibras naturais^[1]. A utilização de fibras naturais como reforço em polímeros termoplásticos tem sido estimulada também devido ao elevado custo ambiental de se produzir fibras sintéticas, que possuem maior conteúdo energético devido ao processo de fabricação^[2], tais como vidro, carbono e Kevlar®^[3], além de considerar aspectos relacionados à biodegradação^[4].

As fibras sintéticas foram desenvolvidas principalmente para atender à elevada demanda por artigos têxteis. Inicialmente, ocorreu o desenvolvimento e comercialização das fibras *Rayon®* e *Nylon®*; hoje, em sua maioria, as fibras têxteis são produzidas a partir de um único tipo de fibra ou

da mistura de várias fibras, naturais ou sintéticas, possibilitando grande variedade nas características dos produtos finais^[3]. Entretanto, existe a tendência de maior utilização de fibras sintéticas, gerando economia de escala para a produção, e possibilitando a modernização e aumento da produtividade no processo de fiação^[5]. O Brasil é um importante produtor mundial de artigos têxteis, ocupando a sétima posição na produção de fios e tecidos planos e a terceira na produção de tecidos de malha^[6].

Levantamento realizado dos resíduos industriais gerados na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul mostrou que cerca de 44 ton/dia de resíduos poliméricos são gerados em Caxias do Sul. Neste parque industrial encontram-se 700 empresas têxteis (malharias e confecções em geral), com uma produção média de 9 milhões de peças por ano, em torno de 5.500 empregos diretos e 7000 empregos indiretos com uma geração de resíduos à base de fibras acrílicas (24%), poliésteres (32%) e fibras mistas (44%)^[7].

As fibras naturais podem ser classificadas em vegetais, animais e minerais. Todas as fibras vegetais, como algodão,

Autor para correspondência: Mara Zeni, Laboratório de Polímeros, CCET, UCS, Caixa Postal 1352, CEP: 95001-970, Caxias do Sul, RS. E-mail: mzandrad@ucs.br.

juta e sisal têm celulose em sua composição, enquanto fibras de origem animal, tais como lã e seda, consistem basicamente de proteínas^[4]. As vantagens de se utilizar fibras naturais em relação a materiais tradicionais reforçantes, tais como fibras de vidro, talco e mica, são: baixo custo; alta tenacidade; boas propriedades mecânicas e térmicas; redução do desgaste de máquina; facilidade de separação e biodegradabilidade, dentre outras. Já foram relatados na literatura compósitos reforçados com fibra de madeira com propriedades específicas similares aos compósitos de polipropileno com fibra de vidro^[8,9].

A fibra natural mais utilizada em tecidos é o algodão, composto basicamente de celulose, contendo somente de 3 a 15% de material não celulósico. As fibras de algodão representam cerca de 90% das fibras naturais utilizadas no Brasil^[10].

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento de compósitos poliméricos por meio do reaproveitamento do resíduo de fibras têxteis, da região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, contendo em sua composição 50% algodão e 50% acrílico, em misturas com polietileno de alta densidade (HDPE), utilizando agentes compatibilizantes comerciais. A influência destes agentes compatibilizantes do tipo ionômero nos compósitos preparados, principalmente nas propriedades mecânicas das misturas, foram analisadas e discutidas.

Materiais e Métodos

A metodologia experimental seguiu as seguintes etapas:

(a) misturas polímero-fibra têxtil utilizando diferentes tipos de agentes compatibilizantes.

Os agentes compatibilizantes utilizados foram *Polybond* 3009 (fornecido pela Uniroyal), composto à base de HDPE graftizado com anidrido maleico, *Polybond* 1009 (fornecido pela Uniroyal), composto à base de HDPE graftizado com ácido acrílico e *Surlyn* 2601 (fornecido pela DuPont), ionômero de sódio do copolímero etileno/ácido metacrílico^[11].

Inicialmente foi verificado o efeito da adição de diferentes agentes compatibilizantes nas propriedades mecânicas em tração, flexão e impacto de compósitos HDPE/resíduos a uma concentração fixa de resíduos (10%). O teor usado de agente compatibilizante foi de 5 phr.

As composições investigadas foram as seguintes: amostra 1 – HDPE; amostra 2: 90% HDPE/10% resíduo; amostra 3: 90% HDPE/10% resíduo/5% *Surlyn* 2601; amostra 4: 90% HDPE/10% resíduo/5% *Polybond* 3009 e amostra 5: 90% HDPE/10% resíduo/5% *Polybond* 1009.

O procedimento de mistura e obtenção dos corpos de prova foi o seguinte: as amostras de resíduo de fibra têxtil composta por 50% algodão/50% acrílico recebidas de indústria de confecção e malharia de Caxias do Sul foram processadas durante 8 minutos, em um moinho, do tipo aglomerador, marca Seibt AS30/500, com o objetivo de desfilar as fibras e, conseqüentemente, facilitar a mistura com a matriz polimérica (Figura 1). As misturas de HDPE (HC 7260 LS, Ipiranga) com o resíduo de fibra têxtil, nas proporções testadas, foram

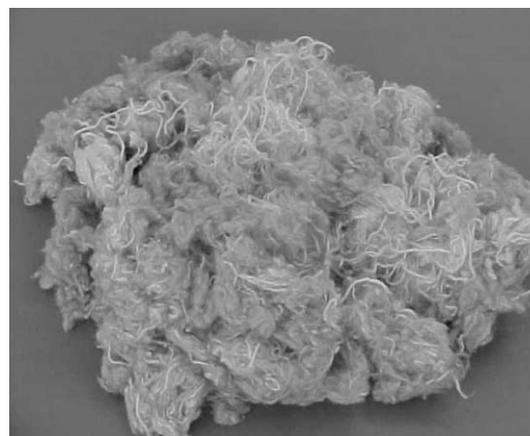


Figura 1. Resíduo de fibra têxtil aglutinado

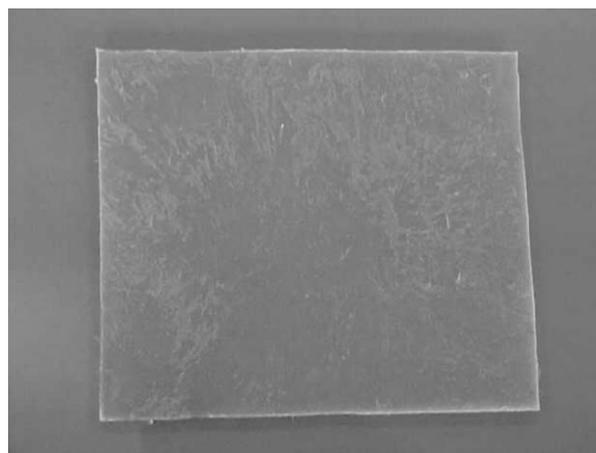


Figura 2. Chapa obtida a partir do material processado (polímero com resíduos de fibra têxtil)

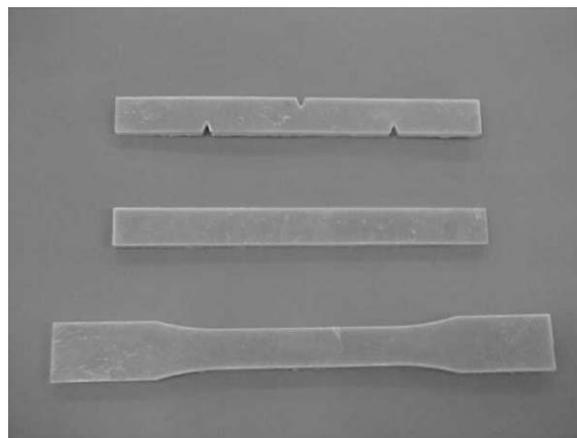


Figura 3. Corpos-de-prova de tração, flexão e impacto dos compósitos polímero-resíduo de fibra têxtil

preparadas em misturador de alta velocidade, do tipo Drais, marca M.H. Equipamentos Ltda., por 1 minuto.

A partir do material processado foram obtidas chapas de 16,5 cm x 14,0 cm por meio de moldagem por compressão, durante cinco minutos a 8.000 kgf e 150 °C. A partir das chapas obtidas, com 3 mm de espessura, foram usinados corpos de prova para ensaios de tração, flexão e impacto segundo

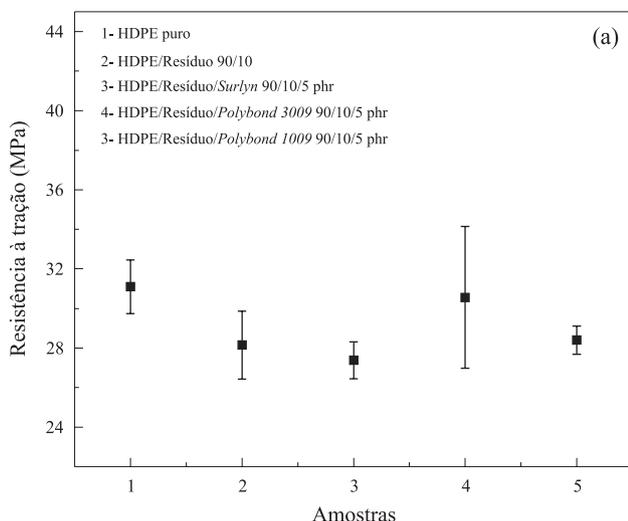


Figura 4. (a) - Resistência à tração das misturas de HDPE com resíduos de fibras têxteis e aditivos(conforme Tab.1).

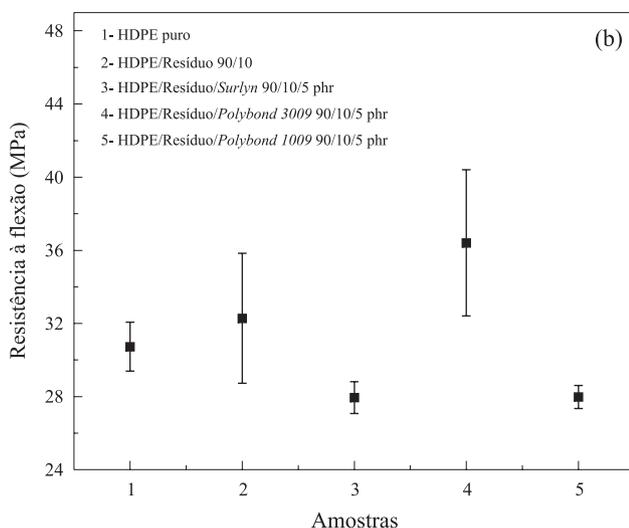


Figura 4. (b) - Resistência à flexão das misturas de HDPE com resíduos de fibras têxteis e aditivos (conforme Tabela1).

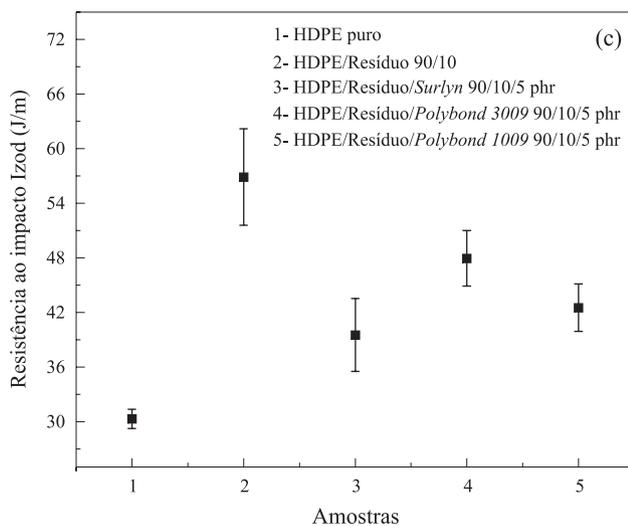


Figura 4. (c) - Resistência ao impacto IZOD das misturas de HDPE com resíduos de fibras têxteis e aditivos (conforme Tab.1).

métodos ASTM D638, ASTM D790 e ASTM D256, respectivamente (Figuras 2 e 3)

Os ensaios mecânicos de resistência à tração e flexão foram realizados em máquina de ensaios universal, marca EMIC, modelo DL 2000; os ensaios de resistência ao impacto IZOD foram realizados em equipamento marca Ceast, modelo Resil 25, utilizando pêndulo de 4 J, segundo os métodos ASTM D 638 e D256, respectivamente. Os ensaios foram realizados a 23 °C e 50% de umidade relativa do ar e os corpos de prova foram condicionados segundo método ASTM D 618. Para cada ensaio, foram utilizados sete corpos de prova para os ensaios de tração e flexão e nove para os ensaios de impacto.

(b) misturas polímero-fibra têxtil utilizando diferentes teores do agente compatibilizante que produziu os melhores resultados em termos de resistência mecânica.

Considerando que os melhores resultados obtidos foi utilizando a formulação com 5 phr de agente compatibilizante *Polybond 3009* (conforme mostra a Tabela 1), foi realizado um estudo sobre o efeito do teor de agente compatibilizante, utilizando teores de 3, 5 e 7 phr, nas propriedades dos compósitos. Para esse fim, foram elaboradas novas misturas polímero-resíduo, fixando o teor de resíduo em 10% em peso. As composições elaboradas foram as seguintes: amostra 6-90% HDPE/10% resíduo/3% *Polybond 3009* e amostra 7-90% HDPE/10% resíduo/7% *Polybond 3009*. Os resultados (mostrados na Tabela 2) indicaram que as propriedades dos compósitos otimizadas foram obtidas com 5 phr de agente compatibilizante.

(c) misturas polímero-fibra têxtil com diferentes teores de fibra utilizando 5 phr de agente compatibilizante (determinado no item b), com o objetivo de se estudar o efeito do teor de resíduos de fibra têxtil (0 a 40% em peso) nas propriedades dos compósitos HDPE/resíduos de fibra têxtil/compatibilizante. As composições estudadas foram denominadas A₁, A₂, A₃ e A₄, correspondendo respectivamente a compósitos contendo 10, 20, 30 e 40% de resíduo de fibra têxtil.

Resultados e Discussão

Nas Figuras 4(a), 4(b) e 4(c) estão apresentados os valores de resistência à tração, à flexão e ao impacto, respectivamente, obtidos das misturas preparadas, variando o tipo de agente compatibilizante, conforme detalhado na Tabela 1.

Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que a adição de agente compatibilizante *Polybond 3009* aumentou a resistência à flexão, em relação aos compósitos com outros agentes compatibilizantes. A resistência à tração dos compósitos não sofreu alteração considerando os erros experimentais. Os resultados da resistência ao impacto dos compósitos com agente compatibilizante mostraram aumento dos valores em relação ao polímero puro e diminuição em relação ao compósito elaborado sem agente compatibilizante. Isto ocorreu provavelmente devido à falta de adesão entre os componentes do sistema matriz-compatibilizante-fibra.

Os resultados dos ensaios mecânicos de resistência à tração e flexão utilizando 10% de resíduo e agente compa-

Tabela 1. Valores estatísticos dos ensaios de impacto dos compósitos HDPE/resíduo de fibra têxtil, correspondentes às amostras 1 a 5

Amostra	Resistência ao impacto (J/m)	Coefficiente de variação (%)
1	30,30 ± 1,06	11,06
2	56,87 ± 5,30	15,74
3	39,52 ± 4,01	10,14
4	47,93 ± 3,04	5,86
5	42,52 ± 2,62	6,17
Resistência à tração (MPa)	Coefficiente de variação (%)	
1	31,10 ± 1,36	2,05
2	28,15 ± 1,72	0,92
3	27,38 ± 0,93	3,38
4	30,56 ± 3,59	5,20
5	28,40 ± 0,71	2,49
Resistência à flexão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	
1	30,73 ± 1,34	4,06
2	32,29 ± 3,56	2,65
3	27,95 ± 0,87	3,10
4	36,41 ± 4,01	4,74
5	27,98 ± 0,63	2,28

(amostra 1 – HDPE; amostra 2 – 90% HDPE/10% resíduo; amostra 3 – 90% HDPE/10% resíduo/5% *Surlyn* 2601; amostra 4 – 90% HDPE/10% resíduo/5% *Polybond* 3009 e amostra 5 – 90% HDPE/10% resíduo/5% *Polybond* 1009)

Tabela 2. Resultados dos ensaios mecânicos de (a) resistência à tração e (b) resistência à flexão, para as amostras utilizando 0 e 10% de resíduo e teor de 3, 5 e 7% de *Polybond* 3009

(a) Amostra	Teor de agente compatibilizante (phr)	Resistência à tração (MPa)	Módulo elasticidade em tração (MPa)
1	0	31,10 ± 1,36	698,2 ± 17,1
2	0	28,15 ± 1,72	683,6 ± 244,7
6	3	29,84 ± 0,29	486,6 ± 99,3
4	5	30,56 ± 3,59	714,5 ± 235,6
7	7	29,25 ± 0,80	445,3 ± 153,6
(b) Amostra	Teor de agente compatibilizante (phr)	Resistência à flexão (MPa)	Módulo elasticidade em flexão (MPa)
1	0	30,73 ± 1,34	1202 ± 178
2	0	32,29 ± 3,56	1201 ± 247
6	3	27,54 ± 0,48	1146 ± 134
4	5	36,41 ± 4,01	1413 ± 232
7	7	25,57 ± 1,01	900 ± 141

(amostra 1 – HDPE; amostra 2 – 90% HDPE/10% resíduo; amostra 4 – 90% HDPE/10% resíduo/5% *Polybond* 3009, amostra 6- 90% HDPE/10% resíduo/3% *Polybond* 3009 e amostra 7- 90% HDPE/10% resíduo/7% *Polybond* 3009)

Tabela 3. Resultados dos ensaios mecânicos para as composições polímero fibra utilizando teor de 5% de agente compatibilizante *Polybond* 3009 (a) resistência à tração; (b) resistência à flexão e (c) resistência ao impacto IZOD

(a) HDPE/resíduo de fibra têxtil (% peso)	Resist. à tração (MPa)	Mód. Elasticidade em tração (MPa)
100/0	31,10 ± 1,36	698,2 ± 17,1
90/10*	28,15 ± 1,72	683,6 ± 244,7
90/10	30,56 ± 3,59	714,5 ± 235,6
80/20	27,35 ± 5,31	579,4 ± 282,7
70/30	26,82 ± 2,95	877,6 ± 77,5
60/40	19,44 ± 3,97	912,1 ± 52,1
(b) HDPE/resíduo de fibra têxtil (% peso)	Resist. à flexão (MPa)	Mód. Elasticidade em flexão (MPa)
100/0	30,73 ± 1,34	1202 ± 178
90/10*	32,29 ± 3,56	1201 ± 247
90/10	36,41 ± 4,01	1413 ± 232
80/20	41,01 ± 3,34	1595 ± 289
70/30	41,51 ± 6,77	1801 ± 377
60/40	38,53 ± 6,48	1996 ± 264
(c) HDPE/resíduo de fibra têxtil (% peso)	Energia consumida (J/m)	
100/0	30,30 ± 1,06	
90/10*	56,87 ± 5,30	
90/10	47,93 ± 3,04	
80/20	62,35 ± 3,66	
70/30	70,26 ± 5,91	
60/40	82,72 ± 6,51	

* não contém agente compatibilizante

tibilizante *Polybond* 3009 nas proporções de 3, 5 e 7%, estão descritos na Tabela 2.

Considerando os resultados obtidos dos ensaios de resistência à tração e à flexão e a relação custo-benefício de se utilizar um agente compatibilizante, resolveu-se escolher para os testes subsequentes o teor de 5 phr de agente compatibilizante *Polybond* 3009. Os valores de módulo de elasticidade dos compósitos não sofreram variação significativa em relação ao polímero puro, considerando o desvio-padrão.

A Tabela 3 mostra os valores dos resultados dos ensaios mecânicos de tração, flexão e impacto para composições utilizando teor de resíduo de fibra têxtil de 0 a 40% em peso, utilizando 5 phr de agente compatibilizante *Polybond* 3009.

Os resultados da Tabela 3 mostram que os maiores valores

da resistência à tração dos compósitos se mantiveram similares, dentro do erro experimental, com teores de resíduos de fibra têxtil até 20%, enquanto que para a resistência à flexão, os maiores valores encontrados se situaram entre 20 e 30% de resíduos de fibra têxtil, também considerando o erro experimental. Os maiores valores de resistência ao impacto dos compósitos foram alcançados com teores maiores de fibra têxtil. Com o aumento do teor de fibra têxtil, o módulo de elasticidade em flexão dos compósitos aumentou, enquanto que os valores do módulo de elasticidade em tração não sofreram variação, considerando o desvio padrão dos resultados.

Conclusões

Os resultados dos ensaios mecânicos realizados permitem concluir que o reaproveitamento dos resíduos das indústrias de fibras têxteis, contendo 50% fibras de acrílico e 50% fibras de algodão, em compósitos com HDPE é viável, não comprometendo as propriedades do produto final. A resistência à flexão e ao impacto dos compósitos aumentaram com a incorporação de agentes compatibilizantes. O agente compatibilizante que incorporado às misturas apresentou os melhores resultados de resistência à tração e flexão foi o *Polybond 3009* em 5% (phr). O aumento do teor de fibra diminuiu a rigidez dos compósitos, fazendo com que aplicações que necessitem de maior resistência ao impacto sejam favorecidas.

Considerando a disponibilidade regional de aproximadamente 100 ton/ano de resíduos deste tipo, e baseados nos resultados mostrados na Tabela 4, pode-se afirmar que o aproveitamento de até 40% de fibras têxteis em compósitos com HDPE podem ser utilizado em utensílios na indústria moveleira, o que representa um destino significativo para este resíduo da indústria têxtil.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Ind. de Malhas Stumpf Ltda, de Caxias do Sul, à UCS, ao CNPq e ao aluno Otávio Bianchi, do Curso de Engenharia Química da UCS.

Referências Bibliográficas

1. Riedel, U.; Nickel, J. – *Die Angew. Makrom. Chem.*, 272, p. 34-40 (1999).
2. Mwaikambo, L. Y.; Ansell, M. P. - *Die Angew. Makrom. Chem.*, 272, p. 108-116 (1999).
3. Rowell, R. M.; Han J. S.; Rowell, J. S. - “*Characterization and factors effecting fiber properties*, in: *Natural Polymers and Agrofibers Based Composites*, E. Frollini; A. L. Leão; L. H. C. Mattoso (ed.), Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, p. 115-132 (2000).
4. Bastioli, C. – *Macromol. Symp.* 135, p. 193-204 (1998).
5. Karnani, R.; Krishnan, M.; Narayan, R. - *Polym. Eng. Sci.*, p. 476. (1997).
6. Filho, D. C. M.; Santos, A. M. M. – “*Cadeia Têxtil: estrutura e estratégias no comércio exterior*”, BNDES Setorial, 15, Rio de Janeiro, p.113-136 (2002).
7. Bianchi, O.; Peresin, D.; Schneider, V.E.; Brandalise, R. N.; Zattera, A.J.; Zeni, M. – “*Índices de geração de resíduos poliméricos no município de Caxias do Sul através da caracterização física e composição gravimétrica*”, in: *Anais do 7º. Congresso Brasileiro de Polímeros*, Belo Horizonte – MG (2003).
8. Krishnan, M.; Narayan, R. - *Mat. Res. Proceedings*, 266 (1992).
9. Rowell, R. M.; Schultz, T. P.; Narayan, R. - *ACS Symposium Series*, 476 (1992).
10. Relatório de Diagnóstico do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), Senai-Cetiqt, Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial, 2002.
11. Pacheco, M. F. M.; Zattera, A.J.; Ferreira, C.; Zeni, M. - *Anais do 2º. Symposium on Feedstock Recycling Techniques*, Ostend/ Belgium (2002).

Enviado: 16/03/04

Reenviado: 08/04/05

Aprovado: 09/05/05