

III-082 - UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ALGODÃO DA INDÚSTRIA TÊXTIL NA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Cleide Borsoi⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade de Caxias do Sul. Mestranda em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC/UCS).

Lisete Cristine Scienza⁽²⁾

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, mestrado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutorado em Corrosão (PhD) - University Of Manchester Institute Of Science And Technology.

Ademir José Zattera⁽³⁾

Engenheiro Químico pela Universidade de Caxias do Sul, mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos e doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é professor da Universidade de Caxias do Sul e coordena o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC).

Endereço⁽¹⁾: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - CEP 95070-560 - Caxias do Sul - RS - Brasil - Telefone: (54) 3218-2100 - e-mail: eng.cleide@yahoo.com.br

RESUMO

Com o aumento da conscientização ambiental pela diminuição do uso de materiais não recicláveis e não degradáveis, aumenta a reutilização de materiais e utilização de produtos biodegradáveis. O presente trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de compósitos a partir de resíduos de fibras têxteis, reaproveitando estes materiais passíveis de reciclagem com alto valor agregado e baixo custo. O principal objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade técnica da utilização de resíduos da indústria têxtil na preparação de compósitos poliméricos utilizando o poliestireno como matriz e avaliar a influência de diferentes teores de carga nas propriedades dos compósitos produzidos bem como a influência da adição do agente de acoplamento, poli(estireno-co-anidrido maleico), nas propriedades dos compósitos. Os compósitos foram desenvolvidos em extrusora dupla rosca co-rotante, precedidos de uma pré-mistura em extrusora mono-rosca e moldados por injeção. Podemos constatar que a adição de 20% de resíduos de algodão aumenta a resistência à tração, com uma tendência maior quando utilizado o agente de acoplamento. Para adição de 10% de fibra de algodão observa-se uma tendência pequena do aumento da resistência à tração apenas com a adição do agente de acoplamento. Pelo módulo de elasticidade por tração constata-se que ocorre um aumento do módulo com a incorporação das fibras de algodão com isso, a incorporação de fibras descontínuas na matriz polimérica termoplástica melhora as propriedades de rigidez do compósito. Na análise de DMTA observa-se que com a adição da fibra de algodão ocorre diminuição da altura do pico de $\tan \delta$. Com isso, para os compósitos analisados, foi observada uma redução no grau de amortecimento em relação ao PS.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra de algodão, agente de acoplamento, compósitos.

INTRODUÇÃO

A legislação ambiental, em muitos países, esta aumentando as responsabilidades sobre os fabricantes, em relação aos seus produtos, bem como todo seu ciclo de vida, incluindo reciclagem e destino final (EDITORIAL, 2003). Com o reaproveitamento de subprodutos pode-se reduzir o consumo de matérias-primas naturais, reduzir o consumo de energia para produção de materiais e a emissão de gases na atmosfera, assim, não comprometendo as gerações futuras e preservando o meio ambiente.

A produção brasileira de algodão em 2009/10 foi de 1,5 milhões de toneladas, representando cerca de 70% da produção total do país. O Brasil passou do maior importador mundial da fibra de algodão para o terceiro maior exportador em 12 anos, sendo a produção preferencialmente destinada a indústria têxtil (MAPA, 2011). O algodão é a principal matéria prima de muitas indústrias têxteis, como fibra têxtil é utilizada a milhares de anos. De acordo com Dobircau et al. (2009), os resíduos de algodão, provenientes das indústrias têxteis,

desperdiçados durante os processos de fabricação dos tecidos podem ser utilizados na obtenção de compósitos ambientalmente amigáveis.

A utilização de resíduos, como carga de reforço em compósitos termoplásticos, trazem benefícios econômicos e ambientais significativos, utilizando fontes alternativas e relativamente baratas (BAJWAA et al., 2011). As fibras oriundas de subprodutos agrícolas, que são processadas e transformadas em produtos, podem ser usadas como reforço em compósito (REDDY et al., 2009). A utilização de fibras naturais como reforço em polímeros termoplásticos tem sido estimulada devido ao elevado custo ambiental de se produzir fibras sintéticas, que possuem maior conteúdo energético devido ao processo de fabricação, além de considerar aspectos relacionados à biodegradação (FINKLER et al., 2005). As fibras de algodão têm propriedades físicas muito promissoras em compósitos matriz/fibra de algodão (e.g. processados por extrusão); porém, a maior parte dos estudos sobre esses materiais tem se centrado em compósitos matriz/tecido de algodão (KIM et al., 2008).

As fibras naturais são constituídas principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, são obtidas de diversas partes da planta como, das sementes, do caule, das folhas, entrecasca, entre outras fontes como madeira (KIM et al., 2008). A presença de água livre e grupos OH, especialmente em regiões amorfas, pioram a capacidade de adesão das fibras com o material. A alta absorção de água na fibra de celulose causa expansão e o efeito de plasticidade resultando em instabilidade dimensional e baixas propriedades mecânicas (MWAIKAMBO et al., 2000). A fraca adesão entre a fibra e a matriz esta relacionada com a característica polar (hidrofílica) das fibras e apolar (hidrofóbica) da matriz polimérica. Para melhorar a adesão entre fibra/matriz um agente de acoplamento é requerido, sendo o mais utilizado o anidrido maleico, o qual promove a interação entre fibra/matriz melhorando as propriedades mecânicas do compósito (CORRADINI et al., 2009).

O presente trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de compósitos a partir de resíduos de fibras têxteis, reaproveitando estes materiais passíveis de reciclagem com alto valor agregado e baixo custo. Assim, foi avaliada a influência de diferentes teores de carga na resistência à tração, no módulo de elasticidade e na propriedade termo dinâmico-mecânica dos compósitos produzidos, bem como a influência da adição de agente de acoplamento nestas propriedades.

MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

FIBRAS DE ALGODÃO

O algodão utilizado é um fio com título 8/2 Ne, o qual é resíduo de processo proveniente da fabricação de tecidos em máquinas de tecelagem, não sendo realizado nenhum tratamento na fibra. O título de um fio expressa a relação entre a massa do fio e seu comprimento, o sistema utilizado para fios de algodão é o sistema indireto, cujo título é o comprimento por unidade de massa; com isso, quanto mais fino for o fio maior será o comprimento por unidade de peso. Na Figura 1 observa-se o aspecto das fibras de algodão utilizadas e a morfologia.

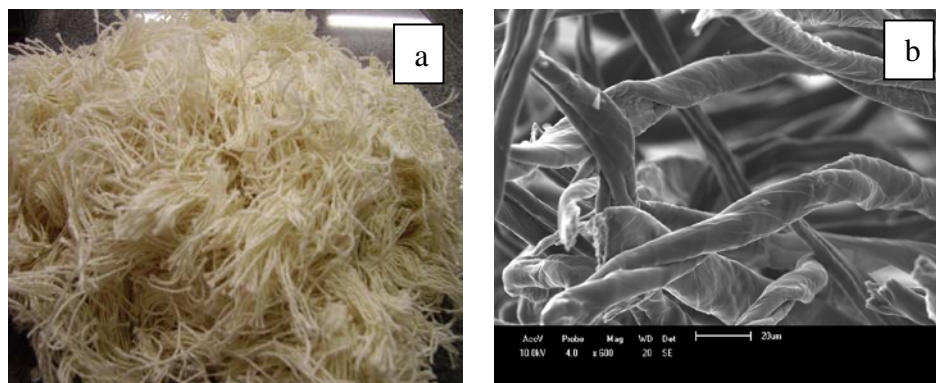


Figura 1: (a) aspecto e (b) morfologia das fibras de algodão utilizadas como reforço.

Como matriz foi utilizado o poliestireno virgem com índice de fluidez - MFI (200 °C, 5 Kg) igual a 20 g/10min, fornecido pela empresa Innova. O agente de acoplamento utilizado foi o copolímero comercial de poli(estireno-co-anidrido maleico), com massa molar ponderal - Mw igual a 5612 g/mol e número ácido de 355 mg KOH/g, fornecido pela empresa Sartomer Company, na forma de *flakes* com nome comercial de SMA 2000. A quantidade em massa de anidrido maleico, de acordo com o fornecedor, é de aproximadamente 30%.

EXTRUSÃO

Antes do processo de extrusão as fibras de algodão foram submetidas à secagem, para remover a umidade presente nas fibras, em estufa por 12 horas a 70 °C, do fabricante Quimis Aparelhos Científicos Ltda modelo B252. O agente de acoplamento foi triturado com auxílio de almofariz e pistilo e misturado manualmente a fibra de algodão e ao PS.

Foi realizada uma pré-mistura do PS e da fibra de algodão em extrusora mono-rosca, visando à diminuição do volume das fibras, assim, melhorando a uniformidade das fibras no compósito. Os materiais foram extrusados em extrusora mono-rosca, modelo ES 35FR, do fabricante SEIBT. As temperaturas nas diferentes zonas de aquecimento variam conforme o seguinte perfil: 140 °C, 160 °C e 180 °C, com velocidade de rotação da rosca de 40 rpm.

O compósito foi triturado no moinho de facas do fabricante Primotecnica modelo 1001 e seco em estufa por 12 horas a 70 °C. Após, o material foi extrusado em extrusora dupla-rosca, modelo COR 20-32-LAB, do fabricante MH Equipamentos. A extrusora possui oito zonas de aquecimento, que variam conforme o seguinte perfil: 115 °C, 150 °C, 185 °C, 185 °C, 180 °C, 175 °C, 175 °C e 170 °C, com velocidade de rotação da rosca de 200 rpm.

INJEÇÃO

Os corpos de prova foram obtidos por injeção em injetora modelo LHS 150-80, fabricante Himaco Hidráulicos e Máquinas Ltda. Foi utilizado três diferentes temperaturas nas zonas de aquecimento com o seguinte perfil de temperatura: 150 °C, 165 °C e 180 °C, com velocidade de rotação da rosca de 100 rpm e temperatura do molde de aproximadamente 20 °C. Os compósitos foram secos em estufa do fabricante Quimis Aparelhos Científicos Ltda modelo B252, antes do processo de moldagem por injeção, por 24 horas a 70 °C.

DESENVOLVIMENTO DO COMPÓSITO

Para avaliar o efeito da adição de fibras de algodão e da influência do uso de compatibilizante nas propriedades dos compósitos foram desenvolvidos formulações com diferentes teores de fibras de algodão em massa (0%, 10% e 20%) divididos em dois grupos: com e sem SMA 2000, sendo utilizado 2 phr de SMA 2000. O método de adição em phr do agente de acoplamento foi utilizado para manter a relação entre o poliestireno e a fibra. Na Tabela 1 estão relacionadas às formulações e a identificação das amostras. Onde a letra P corresponde ao polímero utilizado – PS, a letra A corresponde a fibra utilizada – algodão, os dois primeiros números a quantidade em massa de fibra utilizada e o último dígito a quantidade de agente compatibilizante adicionada.

A amostra PA000 não foi submetida aos processos de extrusão em mono-rosca e dupla-rosca, ao processo de moagem e aos processos de secagem. O PS somente foi utilizado no processo de injeção das amostras para obtenção dos corpos de prova. Não foi avaliada a influência da adição do compatibilizante na matriz.

Tabela 1: Compósitos com diferentes teores de fibras de algodão.

Amostra	Teor de PS	Teor de fibra de algodão (%)	Teor de SMA 2000 (phr)
PA000	100	0	0
PA100	90	10	0
PA102	90	10	2
PA200	80	20	0
PA202	80	20	2

CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Os ensaios de tração foram realizados em máquina universal de ensaio EMIC DL 2000, com velocidade de ensaio de 5 mm/min. O ensaio foi realizado de acordo com a ASTM 638.

Para os ensaios de DMTA foram confeccionados corpos de prova de dimensões aproximadas de 50 x 13 x 3,5 mm obtidos a partir dos corpos de prova de flexão moldados por injeção. O equipamento utilizado foi reômetro oscilatório Anton Paar Physica MCR 101, operando no modo de torção, partindo de 23 °C até 130 °C com taxa de aquecimento de 3 °C/min, na frequência de 1Hz.

RESULTADOS

ENSAIO DE TRAÇÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios de resistência à tração para os corpos de prova ensaiados em cada condição experimental. Pode-se constatar que a adição de algodão ao PS aumentou a resistência à tração, indicando uma melhor transferência de esforços da matriz para o reforço. Valores ainda maiores foram obtidos com a adição do agente de acoplamento. De acordo com Garcia et al. (2008), a carência de compatibilidade adequada entre fibra/matriz faz com que a adesão interfacial não seja suficientemente boa, principalmente em relação às propriedades mecânicas. Dessa forma, um agente de acoplamento é requerido para promover uma melhor adesão interfacial, proporcionando um maior desempenho mecânico do compósito.

Com o aumento do teor de fibras as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas, com isso a incorporação de fibras descontínuas na matriz polimérica termoplástica melhora as propriedades de rigidez e resistência dos compósitos obtidos através do processo de injeção, eliminando a necessidade de processamento adicional (ANTICH et al., 2006). A resistência à tração depende de alguns fatores, como o tipo de fibra, a razão de aspecto (l/d) e a natureza química da fibra. Em estudo realizado por Mwaikambo et al. (1999), a fibra de algodão apresentou um melhor efeito de reforço para o PP, comparado à fibra de madeira, mesmo se o comprimento da fibra de madeira for menor que o da fibra de algodão.

Tabela 2: Resistência à tração para compósito PS/fibra de algodão em comparação a matriz PS.

Amostra	Resistência à tração (MPa)
PA000	42,93 ± 1,082
PA100	44,65 ± 1,142
PA102	46,10 ± 1,060
PA200	51,97 ± 2,533
PA202	52,97 ± 2,414

MÓDULO DE ELASTICIDADE POR TRAÇÃO

Na Tabela 3, observa-se que o módulo de elasticidade aumentou em relação ao PS, sendo esse efeito mais pronunciado para o percentual de 20% de fibra de algodão com SMA 2000. Com o incremento do teor de fibras, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas; com isso, a incorporação de fibras descontínuas na matriz polimérica termoplástica melhora as propriedades de rigidez e resistência dos compósitos obtidos, mediante processo de injeção, eliminando a necessidade de processamento adicional (ANTICH et al., 2006).

Tabela 3: Módulo de elasticidade por tração para compósito PS/fibra de algodão em comparação a matriz PS.

Amostra	Módulo de elasticidade (MPa)
PA000	3678 ± 61,63
PA100	4664 ± 401,5
PA102	4555 ± 294,2
PA200	5854 ± 530,9
PA202	6740 ± 461,0

ANÁLISE TERMO DINÂMICO-MECÂNICA

A Figura 2 mostra a variação de $\tan \delta$ com a temperatura para o PS e para os compósitos PS/fibra de algodão. Observa-se que com a adição da fibra de algodão ocorre diminuição da altura do pico, onde o valor de $\tan \delta$ indica o grau de amortecimento mecânico, quanto mais flexível o sistema, maior o grau de amortecimento. Com isso, para os compósitos analisados, foi observada uma redução no grau de amortecimento em relação ao PS. Comportamento semelhante foi observado por Manikandan et al. (2001), no qual foi avaliado o comportamento da adição de fibras de sisal em PS, com diferentes tratamentos da fibra, onde foi observado que a altura do pico de $\tan \delta$ diminui em relação à matriz PS. Com a adição das fibras, diminui-se a fração da matriz, componente de maior ductilidade e, conseqüentemente, o grau de amortecimento. Com a utilização de agente de acoplamento, a altura do pico é menor em comparação à amostra não compatibilizada; assim, a redução da altura do pico também indica uma boa adesão interfacial (HAMEED et al., 2007). Os resultados corroboram com a análise de módulo de elasticidade por tração onde observa-se que a rigidez do material aumentou.

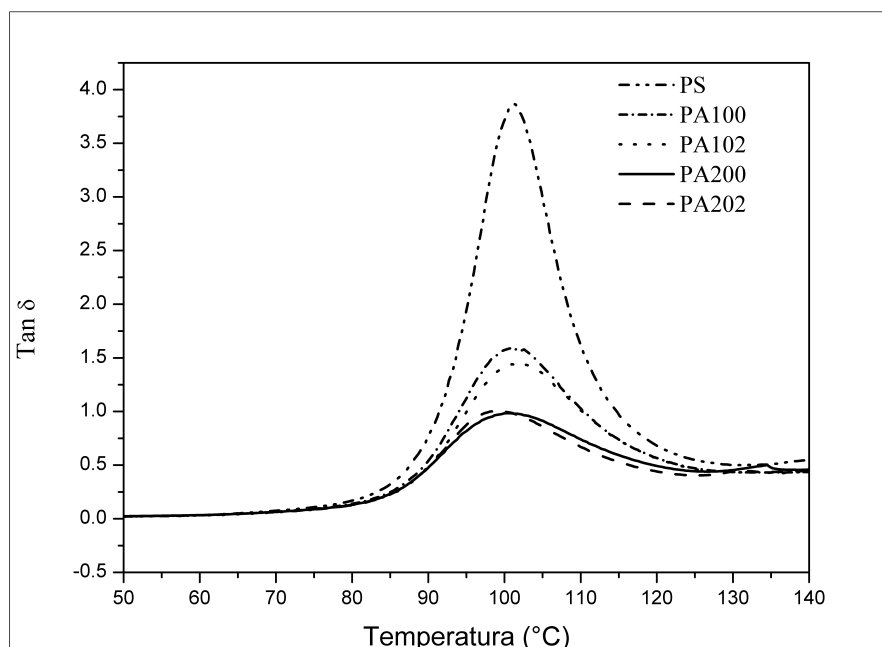


Figura 2: $\tan \delta$ dos compósitos PS/fibra de algodão com e sem agente compatibilizante.

CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados constatou-se que a rigidez dos compósitos produzidos aumenta com a incorporação de resíduos de algodão. O ensaio de tração demonstra que a adição de 20% de fibra de algodão ao PS aumenta a resistência à tração, indicando uma melhor transferência de esforços da matriz para a carga de reforço, ainda mais evidente quando utilizado agente de acoplamento. Isto também foi constatado em relação ao módulo de elasticidade para o percentual de 20% de fibra de algodão.

Pela análise de DMTA percebe-se que com a adição da fibra de algodão ocorre a diminuição da altura do pico de $\tan \delta$ indicando uma redução no grau de amortecimento em relação ao PS. Com a adição das fibras diminui-se a fração da matriz, de maior ductilidade, e conseqüentemente o grau de amortecimento.

A incorporação de resíduos de fibras de algodão, provenientes do processo de tecelagem em indústria têxtil, na matriz de poliestireno torna-se uma alternativa para a reciclagem destes resíduos. Através dos estudos do presente trabalho, a incorporação de 20% de fibras de algodão se torna tecnicamente viável na substituição de fibras sintéticas, com reaproveitamento de resíduos e diminuição do custo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTICH P.; VAZQUEZ, A., MONDRAGON, I., BERNAL, C. Mechanical behavior of high impact polystyrene reinforced with short sisal fibers. **Composites: Part A**. v. 37, p. 139–150, 2006.
2. BAJWAA, S. G.; BAJWA, D. S.; HOLT, G.; COFFELT, T.; NAKAYAMA, F. Properties of thermoplastic composites with cotton and guayule biomass residues as fiber fillers **Industrial Crops and Products**, v. 33, p. 747–755, 2011.
3. CORRADINI, E.; ITO, E. N.; MARCONCINI, J. M.; RIOS, C. T.; AGNELLI, J. A. M.; MATTOSO, L. H. C. Interfacial behavior of composites of recycled poly(ethylene terephthalate) and sugarcane bagasse fiber, *Polymer Testing*, n. 28, p. 183–187, 2009.
4. DOBIRCAU, L.; SREEKUMAR, P.A.; SAIHAH, R.; LEBLANC, N.; TERRIÉ, C.; GATTIN, R.; SAITER, J.M. Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fiber: Agro-green-composites. *Composites Part A*. p. 329-334, 2009.
5. Editorial Eco-Composites, **Composites Science and Technology**, n. 63, p.1223–1224, 2003.
6. FINKLER, M.; SCAPINI, P.; FREIRE, E.; ZATTERA, A. J.; ZENI, M. Compósitos de HDPE com Resíduos de Fibras Têxteis. Parte I: Caracterização Mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 3, p. 171-175, 2005.
7. GARCIA, M.; GARMENDIA, I.; GARCIA, J. Influence of natural fiber type in eco-composites. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 107, p. 2994-3004, 2008.
8. HAMEED, N.; SREEKUMAR, P. A.; FRANCIS, B.; YANG, W.; THOMAS, S. Morphology, dynamic mechanical and thermal studies on poly(styrene-co-acrylonitrile) modified epoxy resin/glass fibre composites. **Composites: Part A**, n.38, p. 2422–2432, 2007.
9. KIM, S. J.; MOON, J. B.; KIM, G. H.; SIK, C. Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. **Polymer Testing**. n. 27, p.801 – 806, 2008.
10. MANIKANDAN NAIR, K. C.; SABU THOMAS; GROENINCKX, G. Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. **Composites Science and Technology**. v. 61, p. 2519 - 2529, 2001.
11. MWAIKAMBO, L. Y.; BISANDA, E. T. N. Material Properties The performance of cotton–kapok fabric–polyester. *Composites Polymer Testing*. v. 18, p. 181–198, 1999.
12. MWAIKAMBO, L. Y.; MARTUSCELLI, E.; AVELLA, M. Kapok/cotton fabric – polypropylene composites. **Polymer Testing**. n. 19, p. 905 – 918, 2000.
13. Produção de algodão no Brasil. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/vegetal/culturas/algodao>. Acesso em: 15 abr. 2011.
14. REDDY, N.; YANG, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks. **Bioresource Technology**, n. 100, p. 3563–3569, 2009.