

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

UTILIZAÇÃO DO PARTICULADO DO ENDOCARPO DO COCOS NUCÍFERA LINN COMO AGENTE DE REFORÇO EM MATRIZ DE POLIPROPILENO

Gustavo Santos de Lucena Lira, gustavolucenalira@hotmail.com¹
Alexandre Everton Freire de Araújo, alexandretopo@gmail.com¹
Maraisa Cristiane de Oliveira Leite, maraisacristiane@hotmail.com¹
Felipe Morais Fernandes Serafim, felipefernandes_mat@hotmail.com¹
Luiz Cláudio Ferreira da Silva, eclaudio@ufrnet.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal/RN, Brasil.

Resumo: A participação das cargas naturais nos compósitos tem possibilitado a melhoria de sua estrutura mecânica, bem como, a economia de aplicação de cargas sintéticas, as quais além de possuírem alto valor de mercado, envolvem processos de fabricação e reciclagem nocivos a saúde do homem. Nessa esteira, o presente trabalho desenvolveu compósitos poliméricos de Polipropileno, como matriz, e o particulado do endocarpo do Cocos Nucífera Linn (10 e 20 %wt) na função de agente de reforço, e também, o polipropileno puro. Com o objetivo de obter uma eficiente interação na interface do particulado com a matriz e uma distribuição uniforme do particulado no polímero, foi utilizada uma faixa granulométrica do particulado de 0,5 a 0,263 mm. Já para fabricação dos corpos-de-prova, o material foi processado por extrusão, com extrusora dupla rosca, e, em seguida, a injeção, variando a temperatura de processamento em até 200 °C, no intuito de atingir um valor acima da temperatura de transição vítrea do resíduo lignocelulósico, a fim de que a resina natural (lignina) auxilie a adesão com a matriz. Para a caracterização do particulado do endocarpo do coco, dos polímeros e dos compósitos foram utilizados o ensaio de tração, a flexão e a microscopia eletrônica de varredura. Dessa forma, apesar da presença da carga gerar diminuição da ductilidade e resistência mecânica, concluiu-se que o particulado possibilitou o aumento dos módulos de elasticidade à tração e à flexão do polipropileno e, por meio da análise por microscopia eletrônica de varredura, evidenciou-se interação entre a carga e a matriz.

Palavras-chave: Compósito, Polipropileno, Particulado, Endocarpo do coco.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da ciência, os polímeros substituíram uma significativa quantidade de materiais metálicos utilizados em aplicações mecânicas. Assim, os polímeros tiveram grande aceitação no mercado devido as suas diversas vantagens, dentre elas, a utilização dos polímeros gerou a redução de custos, a facilidade de produção e processamento (Antunes, 2012). Em muitas aplicações, a adição de agentes de reforço naturais em polímeros, estrutura denominada de compósito, possibilitou a melhoria das propriedades mecânicas, por exemplo, o módulo de elasticidade e a resistência ao impacto e à flexão (Faruk, 2012).

As cargas utilizadas para reforçar os polímeros podem ser classificadas como naturais ou sintéticas, sendo essas últimas, as cargas artificiais, como a de vidro e a de carbono, utilizadas no fortalecimento dos plásticos e responsáveis por garantirem as excelentes propriedades térmicas e mecânicas. Porém, elas impõem sérios problemas ao meio ambiente, sobretudo, por não serem biodegradáveis e não existirem métodos adequados para a sua eliminação.

Com a visão ecológica do século XXI, a utilização de cargas naturais em polímeros, na formação de compósitos, tem chamado a atenção de vários cientistas, pelo fato de serem biodegradáveis, não abrasivos, possuírem baixo custo e baixa densidade (Sousa, 2005).

No entanto, alguns inconvenientes reduzem o potencial da utilização das cargas naturais no reforço de polímeros, tais como: a incompatibilidade da fibra natural com a matriz polimérica; a baixa resistência à absorção de água; e a degradação das fibras durante a fabricação do compósito (Verma, 2012).

Através desses problemas citados e da necessidade da criação de novos compósitos naturais, diversos trabalhos científicos têm sido elaborados, com o intuito de avaliar o comportamento dos diferentes tipos de cargas naturais em matriz polimérica. Então, na literatura, estão presentes experimentos, principalmente, com os derivados da madeira, do coco, da maçã, do bambu, do trigo e do arroz, utilizando como matriz o Polipropileno, o Policloreto de Vinil e os Poliésteres.

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma das frutíferas mais difundidas naturalmente no globo terrestre, ocorrendo em praticamente todos os continentes (Martins; Júnior, 2011). Em virtude desta dispersão e adaptabilidade, seu cultivo e sua utilização se dão de forma expressiva em todo o mundo, com os mais variados produtos, tanto de forma in natura quanto industrializada.

O endocarpo do coco contribui com a menor proporção de massa do fruto descascado, constituído cerca de 19% deste, ou seja, cerca de 150g de endocarpo para massa de 890g do coco sem a casca externa ou mesocarpo (Silva, 2008). De acordo com Cambuim (2009), o endocarpo do coco é composto por um material lignocelulósico (hemicelulose, celulose e lignina) e o teor de lignina é responsável pela elevada dureza e durabilidade do material. O endocarpo do coco da baía possui cerca de 50% de lignina, superior a madeira que possui cerca de 30%, apresentando elevada resistência e dureza (Cambuim, 2009).

Finalmente, a aplicação de cargas lignocelulósicas, como o endocarpo do coco, nos materiais poliméricos têm melhorado o comportamento mecânico desses materiais, por exemplo, o aumento de rigidez. Nesse sentido, o aumento do módulo de elasticidade do compósito é dado com o aumento da quantidade de particulado lignocelulósico na matriz (Sarki *et al.* 2010). Outro fator para otimização do comportamento do compósito, é a adesão da matriz com o particulado natural, isso porque a lignina presente no endocarpo do coco tem sido a principal responsável pela adesão entre a matriz e a carga. Nesse raciocínio, o objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos e a interface matriz/carga do polipropileno com a participação do particulado do endocarpo do coco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O polipropileno utilizado nos experimentos foi o CP 141, copolímero heterofásico de propeno e eteno, fabricado pela empresa BRASKEM. Já os endocarpos do coco são oriundos da região litorânea do estado do Rio Grande do Norte.

O condicionamento do endocarpo do coco foi realizado com a remoção das fibras (região externa do coco) e a retirada do albúmen sólido (região interna do coco). Enquanto, a moagem do endocarpo do coco foi sucedida em moinho de martelo, visto que os moinhos de faca e esferas não apresentaram eficiência para triturar os endocarpos. Após a moagem, a faixa granulométrica selecionada para fabricação dos compósitos foi de 0,5 a 0,263 mm, através de peneiramento. A Figura 1, a seguir, demonstra os cocos coletados, os endocarpos após a limpeza e, por fim, o particulado.



Figura 1. Apresentação do coco coletado, limpo e de seu particulado

Para o processo de secagem, os particulados do endocarpo do coco foram mantidos inicialmente em estufa de secagem com circulação forçada da marca Venticell a 60 °C por 24h e, em seguida, em estufa a vácuo TE-395 da empresa TECNAL, numa temperatura de 70 °C por 30h.

2.1. Processamento dos Materiais

Para fabricação dos corpos-de-prova, foram utilizados os processos de extrusão e injeção, atendendo a norma ASTM D 4101. O processo de extrusão foi realizado com as seguintes formulações: polipropileno puro (PPEI 100/0) e as composições de polipropileno com particulado do endocarpo do coco nas relações de 90/10 %wt (PP 90/10) e 80/20 % wt (PP 80/20), respectivamente. E para o processo de injeção, foram utilizadas as formulações citadas e o polipropileno puro (PPI 100/0).

A extrusão do polipropileno puro e de suas formulações com os particulados do endocarpo do coco foram realizadas numa extrusora rosca dupla co-rotacional (AX Plásticos, modelo AX – DR 16:40), com roscas com

diâmetros de $D=16\text{mm}$, relação de comprimento por diâmetro $L/D=40$, rotação de rosca de 250 rpm e zona de aquecimento entre 90 e 200°C. Enquanto o processo de injeção foi sucedido numa injetora ARBURG ALLROUNDER, modelo: 270 s, com temperatura de molde entre 170 e 200°C. A Figura 2 apresenta os corpos de prova para o polipropileno e seus compósitos obtidos a partir dos processos de injeção e extrusão.

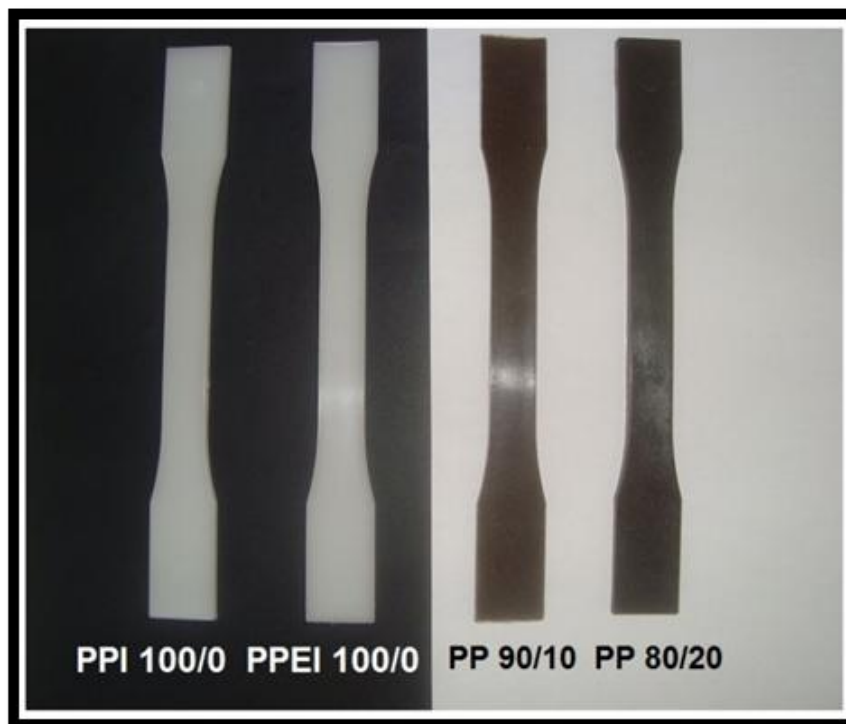


Figura 2. Corpos de prova para o polipropileno puro e os seus compósitos com o particulado do endocarpo do coco.

2.2. Caracterização do Polipropileno e dos Compósitos

Os ensaios de tração foram submetidos conforme a norma ASTM D638-14, estando os corpos de prova com as dimensões do tipo I da norma, para materiais compósitos reforçados e injetados. E a velocidade utilizada para o ensaio de tração foi de 5 mm/min.

Enquanto o ensaio de flexão em três pontos atendeu a norma ASTM D790-10, com velocidade de deslocamento de 1,3 mm/min e distância entre pontos de apoio de 127 mm, os corpos de prova para os dois ensaios foram condicionados durante 48h em temperatura de 23°C e umidade de 50%.

A visualização das fraturas dos corpos de prova de Polipropileno e de seus compósitos com o particulado do endocarpo do coco foi promovida por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), HITACHI, TM 3000, Tabletop Microscope, com uma tensão de aceleração de elétrons de 15 KV, modo: Analy.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O diagrama tensão x deformação dos ensaios de tração dos compósitos de polipropileno reforçados com o particulado do endocarpo do coco e das composições puras de polipropileno podem ser visualizados na Fig. 3. A adição do particulado do endocarpo do coco promoveu a diminuição da deformação específica do polipropileno, sendo assim, à medida que foi elevada a quantidade de carga na matriz, a deformação específica foi diminuída, ou seja, promovendo uma diminuição da ductilidade. Além disso, o aumento da quantidade de carga na matriz de polipropileno também promoveu a diminuição do seu limite de resistência mecânica. Por outro lado, a participação da carga na matriz possibilitou um aumento do módulo de elasticidade do polipropileno, tornando-o mais rígido.

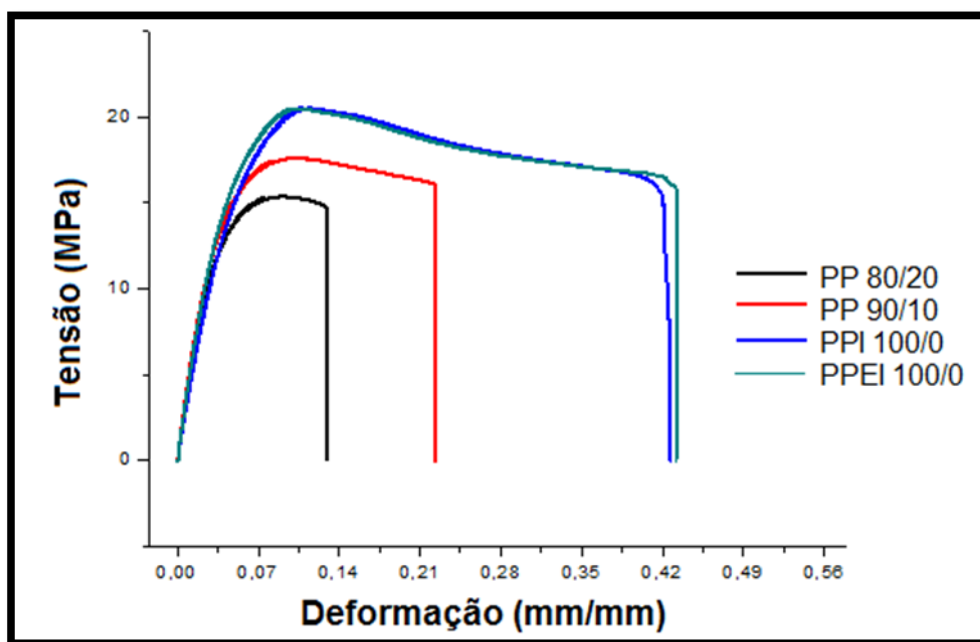


Figura 3. Diagrama tensão-deformação obtido através de ensaio de tração uniaxial para os materiais.

Os valores dos módulos de elasticidade, das tensões últimas, tensões de ruptura, bem como os seus respectivos valores de deformações, obtidos nos ensaios de tração para os materiais podem ser visualizados na Tab. 1, a seguir.

Tabela 1. Dados obtidos através dos ensaios de tração.

Propriedade / composição	PPEI 100/0	PPI 100/0	PP 90/10	PP 80/20
Módulo de elasticidade (GPa)	$0,44 \pm 0,01$	$0,43 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,02$
Tensão última (MPa)	$20,39 \pm 0,36$	$20,54 \pm 0,16$	$17,57 \pm 0,07$	$15,30 \pm 0,06$
Deformação na tensão última (mm/mm)	$0,086 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,01$	$0,087 \pm 0,002$
Tensão de ruptura (MPa)	$15,39 \pm 0,08$	$15,13 \pm 0,58$	$16,51 \pm 0,18$	$14,06 \pm 0,19$
Deformação na tensão de ruptura (mm/mm)	$0,43 \pm 0,08$	$0,42 \pm 0,07$	$0,23 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,01$

Os valores das propriedades mecânicas obtidas tanto para o Polipropileno puro injetado quanto para o Polipropileno puro extrudado e injetado apresentaram resultados próximos. Portanto, a pequena diferença das propriedades mecânicas evidencia que o processo de extrusão com a faixa de temperatura utilizada não promoveu degradação térmica e cisalhante suficiente para variar de forma significativa o comportamento mecânico do Polipropileno. Já o alto valor de deformação apresentado para o polipropileno puro, está ligado a sua temperatura e organização das estruturas moleculares durante o ensaio de tração. Por ser considerado um polímero semi-cristalino, as regiões amorfas presentes nas temperaturas entre a transição vítrea e de fusão possibilitam essas mobilidade. E a presença do resíduo lignocelulósico como carga em 10% wt aumentou 4,0 % o módulo de elasticidade, diminuiu 14,0 % da tensão última, aumentou 7,0 % a tensão de ruptura e diminuiu 46,5 % a deformação de ruptura em relação ao polipropileno puro. Enquanto a carga de 20% wt na matriz de polipropileno aumentou 11,3 % o módulo de elasticidade, diminuiu 25,0 % na tensão última, diminuiu 8,6 % na tensão de ruptura e diminuiu 72,1 % a deformação de ruptura em relação ao polipropileno puro.

As imagens obtidas a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para as superfícies fraturadas dos corpos de prova dos compósitos através do ensaio de tração uniaxial estão demonstradas nas Fig. 4, a seguir.

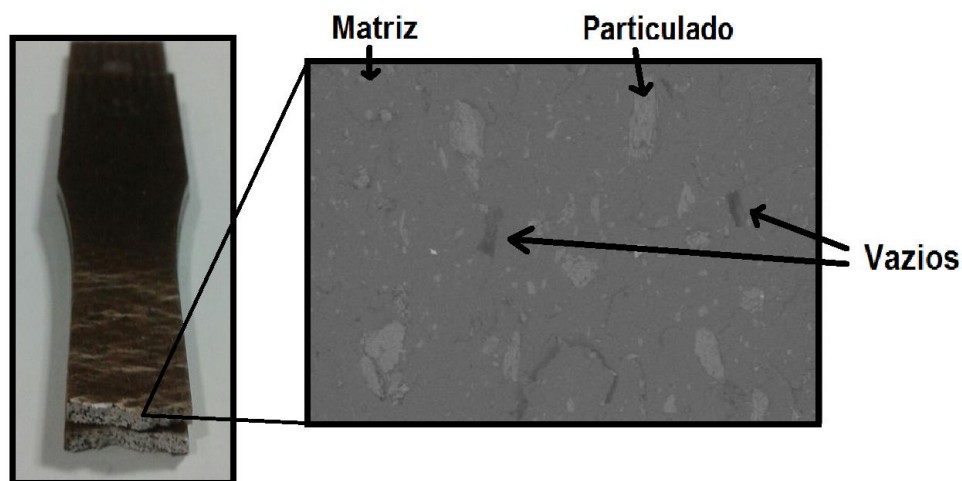


Figura 4. Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 40X.

O surgimento da fase esbranquiçada na seção transversal e na superfície do corpo-de-prova de polipropileno é oriundo do alinhamento das cadeias de polipropileno, durante a deformação plástica no ensaio de tração, levando a um alto grau de ordenamento molecular localizado, ou seja, a formação de uma fase cristalina mais rígida.

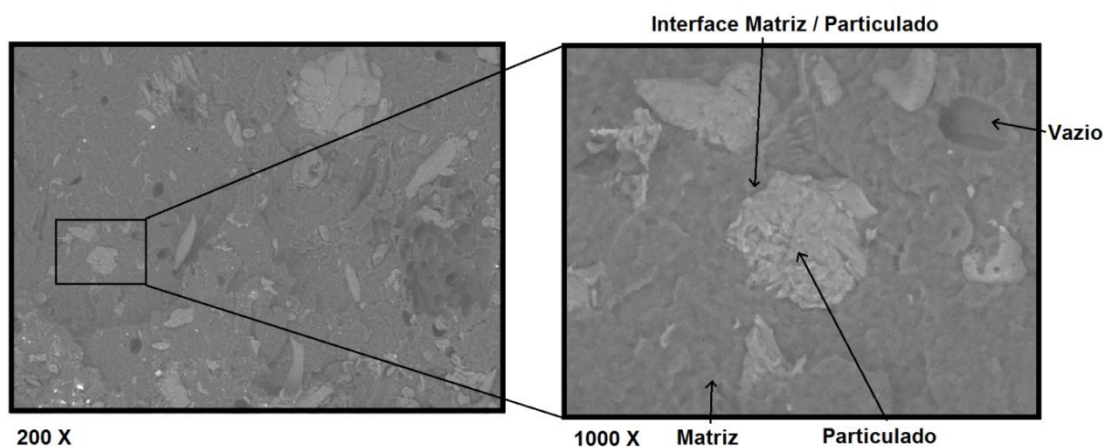


Figura 5. Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 80/20 com 200X e 1000X.

Conforme a Figura 5, a interface da matriz de polipropileno com o agente de reforço particulado do endocarpo do coco apresentou boa adesão. Essa adesão matriz/particulado está associada à presença da lignina. Com temperatura máxima de processamento de 200 °C dos materiais, a lignina atingiu temperatura acima da transição vítrea, que varia entre 130 a 195 °C, possibilitando aumento da área de contato aliada a interdifusão das cadeias poliméricas, causado pelo aumento do movimento molecular que se estabelece acima do ponto de transição vítrea.

Os valores de módulo de elasticidade à flexão para o Polipropileno puro e suas composições com o particulado do endocarpo do coco estão representados no Fig. 6. A adição do particulado como fase dispersa na matriz de polipropileno possibilitou o aumento de seu módulo de elasticidade à flexão. Para o polipropileno puro extrudado e injetado (PPEI), o aumento do módulo de elasticidade à flexão com a adição do particulado em 10% wt foi de 6,4%, enquanto para o compósito com 20% wt do particulado foi de 8,8%. Já em relação ao polipropileno injetado (PPI), o aumento do módulo de elasticidade à flexão com a adição do particulado em 10% wt foi de 12,7%, enquanto para o compósito com 20% wt do particulado foi de 15,2%.

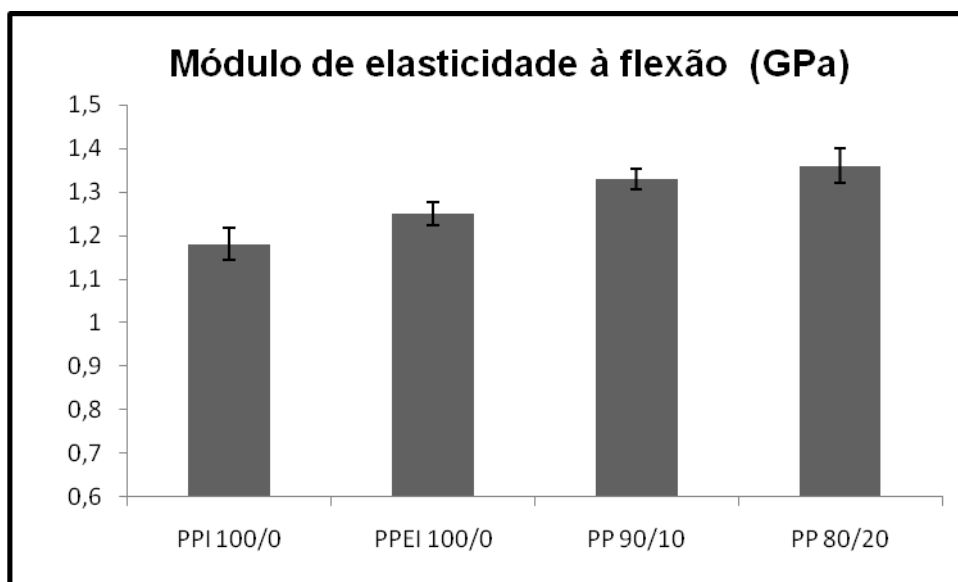


Figura 6. Efeito no módulo de elasticidade à flexão através da adição do particulado do endocarpo de coco na matriz de polipropileno.

Os corpos-de-prova, tanto do polipropileno puro como dos compósitos, não foram rompidos durante o ensaio de flexão. Assim, a alta flexibilidade apresentada pelos corpos-de-prova está relacionada com a temperatura em que o ensaio foi realizado. Com uma temperatura de transição vítrea em torno de 4 a 12 °C e uma temperatura de ensaio em torno de 25 °C, o polipropileno e os seus compósitos apresentam mobilidade estrutural suficiente para não haver o rompimento.

4. CONCLUSÕES

Os processos de injeção e extrusão com temperatura máxima de processamento de 200 °C não promoveram a degradação cisalhante e térmica suficiente para modificar as propriedades mecânicas do polipropileno. E a faixa granulométrica utilizada para os processos de extrusão e injeção permitiu homogeneidade do compósito, além de evitar obstrução nas matrizes das máquinas. Já a participação do reforço particulado do endocarpo do coco (*Cocos Nucífera Linn*) na matriz de polipropileno resultou aumento do módulo de elasticidade do polímero, proporcionalmente, a quantidade de carga, tornando-o mais rígido. E, por último, de acordo com a microscopia eletrônica de varredura, o resíduo lignocelulósico promoveu a interação do particulado com a matriz.

5. REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Marcela Caroline., 2012, “Durabilidade mecânica de compósitos de polipropileno com reforço híbrido de fibra de coco e talco”. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 158 f.
- FARUK, Omar et al., 2012, “Progress in Polymer Science: Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010”. Elsevier. Philadelphia, p. 1552-1596.
- CAMBUIM, Karina Beltrão., 2009, “Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente e fisicamente com vapor d’água: produção, caracterização e aplicações”. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 139 f..
- MARTINS, Carlos Roberto; JESUS JÚNIOR, Luciano Alves de., 2011, “Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional”, Aracaju, SE.
- SARKI et al., 2010, “Potential of using coconut shell particle fillers in eco-composite materials. Elsevier: Journal of Alloys and Compounds”. Nigeria, p. 2381-2386.
- SILVA, Luiz Cláudio Ferreira da., 2008, “Utilização de Resíduo Lignocelulósico na Obtenção de Chapa de Madeira Aglomerada Homogênea e Compósito Reforçado com Fibra de Vidro-E. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Centro de Ciência Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 205 f.
- SOUSA, J.A., 2005, “Propriedades de Engenharia de Termoplásticos”. Engenharia de Materiais. DEMa, UFSCar, São Carlos. SP.
- VERMA, D., 2012, “Coir Fibre Reinforcement and Application in Polymer Composites: A Review”. Jmes, India, p.266-267.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

USE OF PARTICULATE COCOS NUCÍFERA LINN SHELL AS REINFORCEMENT FOR POLYPROPYLENE MATRIX

Gustavo Santos de Lucena Lira, gustavolucenalira@hotmail.com¹
Alexandre Everton Freire de Araújo, alexandretopo@gmail.com¹
Maraisa Cristiane de Oliveira Leite, maraisacristiane@hotmail.com¹
Felipe Moraes Fernandes Serafim, felipefernandes_mat@hotmail.com¹
Luiz Cláudio Ferreira da Silva, eclaudio@ufrnet.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal/RN, Brasil.

Abstract. *The use of natural residues as a reinforcement in the production of plastic composites has enabled the improvement of its mechanical structure and saved the utilization of synthetic reinforcement that has manufacturing processes and recycling harmful to human health. In this study were fabricated polypropylene composites with 10 and 20 wt.% of coconut (Cocos Nucífera Linn) shell load and polypropylene pure. To the optimization of the interfacial bond between particulate and polymer matrix were utilized a granulometric range of 0,5 a 0,263 mm and fabricated using temperature maximum of 200 °C, above the glass transition temperature of lignocellulosic residue, by extrusion and injection moulding. The properties of particulate, composites and polymers were investigated by tensile and bending testing and Scanning electron microscope. The polymer had its ductility and mechanical resistance decreased with particulate addition. Thus, its modulus of elasticity and flexural (stiffness) increased. The Scanning Electron Microscopy showed a good adhesion between coconut shell particulate and polypropylene.*

Keywords: Composite, Polypropylene, Particulate, Coconut Shell.