

INFLUÊNCIA DE VARIADOS PARÂMETROS DE PROCESSOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA *

Renardir Peixoto Maciel Junior¹
 Nilis Cunha Chimendes²
 Enio Pontes de Deus³
 7

Resumo

A proposta de aproveitamento de fibras vegetais para utilização em desenvolvimento de compósitos de matriz polimérica aliada com a necessidade industrial de caracterizar o compósito reforçado com carbonato de cálcio é a motivação do trabalho. Por virtude da importância do desenvolvimento desses materiais, a caracterização mecânica do reforço, da matriz e, finalmente, do compósito é fundamental para estudo de sua aplicação. Nesse trabalho, para o compósito reforçado com bambu variou-se a direção das fibras e os tratamentos superficiais nas fibras e para o compósito com carbonato de cálcio variou-se o percentual do reforço adicionado. Após a obtenção dos dados, verificou-se que o compósito com as fibras de bambu orientadas na mesma direção do ensaio de tração suportou a maior tensão de tração, enquanto que o tratamento de acetilação também proporcionou um aumento na tensão de tração suportada pelo compósito. Além disso, também foi verificado que a adição de carbonato de cálcio na matriz polimérica reduziu a tensão suportada pelo material, no entanto, aumentou a sua rigidez. Logo, foi possível verificar a influência de diversos parâmetros nas propriedades mecânicas de dois diferentes compósitos de matriz de polipropileno reciclado.

Palavras-chave: Polipropileno. Compósito. Fibra de Bambu. Carbonato de cálcio.

INFLUENCE OF VARIABLE PARAMETERS OF PROCESSES IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC MATRIX COMPOSITES

Abstract

A proposal for the use of vegetable fibers in polymer matrix composites together with an industrial need to characterize the composite reinforced with calcium carbonate is the motivation of the work. Due to the importance of the development of the materials, a mechanical characterization of the reinforcement, of the matrix and finally of the composite is fundamental for the study of its application. In this work, for the bamboo reinforced composite, the direction of the fibers and the superficial treatments in the fibers were varied and for the composite with calcium carbonate the percentage of the added reinforcement was varied. After obtaining the results, it was realized that the composite with the bamboo fibers oriented in the same direction of the tensile tests supported the high tensile stress, whereas the acetylation treatment also provided an increase in the tensile strength supported by the composite. Besides that, it was also realized that the addition of calcium carbonate in the polymer matrix reduced the stress supported by the material, however, increased its rigidity. Therefore, it

was possible to verify the influence of several parameters on the mechanical properties of two different recycled polypropylene matrix composites

Keywords: *Polypropylene, Composite, Bamboo Fiber, Calcium Carbonate*

¹ *Engenheiro Metalurgista e de Materiais, Bacharelado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Ceará, Ceará e Brasil..*

² *Engenharia Metalúrgica/graduando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Ceará, Ceará e Brasil.*

³ *Engenheiro Civil, Doutorado, Professor Adjunto /Orientador, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará e Brasil.*

⁴ .

1 INTRODUÇÃO

A aplicação dos polímeros vem crescendo exponencialmente em diversos campos da sociedade, desde os setores automobilístico e medicinal, até setores como os de embalagem. O ponto fundamental na aplicação de um material é a boa relação entre suas propriedades e o seu custo, ponto que vem sendo conquistado pelos polímeros e suas respectivas blendas, tendo um grande potencial para exploração e desenvolvimento.

Outro grande desafio do contexto atual é o desenvolvimento de materiais que não causem impacto negativo a natureza. A disponibilidade de matéria prima e a incapacidade de reciclar alguns tipos de polímeros (termofixos, por exemplo), são limitantes que podem ser contornados através do uso de compósitos e blendas. Diante desse fato, parte da matéria prima principal pode ser substituída pelo uso de blendas e compósitos, conferindo um ganho nas propriedades mecânicas e uma redução nos impactos ambientais.

Os compósitos podem ser reforçados por fibras de tal forma que ambas, fibras e matriz, conservem suas identidades química e física e, ainda, produzam uma combinação de propriedades que não podem ser conseguidas com um dos constituintes agindo sozinho [1]. As ligações entre matriz e reforço, ligações químicas estáveis da matriz do polímero e o módulo de resistência da fibra são os três principais fatores que determinam as propriedades mecânicas do compósito.

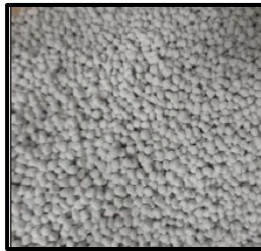
Neste trabalho serão utilizados compósitos de mesma matriz polimérica, porém com dois reforços: fibras de bambu e carbonato de cálcio. Esses dois materiais possuem aplicação e status de desenvolvimento totalmente diferentes. Enquanto o primeiro ainda está em fase de desenvolvimento para a indústria automobilística, além de se apresentar como uma alternativa ao desenvolvimento de materiais mais resistentes mecanicamente aliados ao fator ambiental, o outro possui aplicações bem definidas no mercado, como em produtos domésticos.

Visando atender ao requisito de uma matéria prima que tem alto fator de impacto sócio ambiental, foi escolhido o Polipropileno isotático (PPI) reciclado como matriz do compósito. Vale ressaltar que as fibras naturais apresentam algumas limitações, como: fraca adesão interfacial com os polímeros sintéticos, elevada capacidade de absorção de água, baixa resistência à temperatura, entre outras desvantagens inerentes aos materiais orgânicos. Visto isso, faz-se necessária uma investigação ampla sobre todos os aspectos referentes a esses materiais reciclados. Apesar disto, essas fibras são muito importantes, pois estão inteiramente ligadas à possibilidade da produção de compósitos com excelentes propriedades mecânicas e baixas densidades, o que poderia ser utilizado para substituir materiais convencionais como os metálicos e a madeira [2]. Somando a isso, atende a tendências mundiais objetivando a viabilidade econômica e ao mesmo tempo a preocupação com o meio ambiente leva a alternativa de se fazer uso dos recursos naturais renováveis [3]. Grandes investimentos têm sido feitos na utilização de fibras e resíduos vegetais para a produção de compósitos poliméricos que apresentam uma série de vantagens, como sua fácil fonte de obtenção [4,5].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados nesse trabalho são respectivamente a matriz polimérica e a fase dispersa. Sendo a matriz o Polipropileno Isotático reciclado e a fase dispersa para um compósito o carbonato de cálcio e para o outro as fibras de bambu.



Fonte: Próprio autor. Fonte: Próprio autor.
Figura 1. Carbonato de cálcio Figura 2. PPI. Reciclado na forma de grânulos.



Fonte: Próprio autor.
Figura 3. Fibras de bambu

2.2 Técnica para obtenção dos corpos de prova

Os compósitos foram fabricados por diferentes processos, logo serão explicados separadamente.

2.2.1 Técnica para obtenção do compósito com carbonato de cálcio.

Os compósitos utilizando carbonato de cálcio foram produzidos em uma injetora modelo ROMI PRIMAX R 800. Abaixo seguem características técnicas da injetora e parâmetros do processo de injeção utilizados.

Tabela 1. Parâmetros principais de processo utilizados.

Pressão no molde	bar	5
Pressão no recalque	bar	70
% de carbonato de cálcio	% em peso	0%, 15%, 23%, 28% e 33%

Fonte: Próprio autor.

O produto final produzido na injetora é uma cadeira doméstica. Foi utilizada a perna da cadeira para confecção do corpo de prova que segue as etapas do fluxograma abaixo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4. Fluxograma de processo de obtenção de corpos de prova.

2.2.2 Técnica para obtenção do compósito com fibra de bambu.

Os compósitos utilizando fibra de bambu foram produzidos em um molde aquecido por uma chapa elétrica industrial. Antes disso, as fibras passaram por diferentes tratamentos superficiais.

2.2.2.1 Tratamentos superficiais nas fibras de bambu

- Mercerização das fibras

Inicialmente as fibras foram entumecidas em água deionizada e aquecidas à 80 °C, durante 30 minutos depois lavadas. A mercerização, tratamento superficial com NaOH para a retirada de constituintes indesejáveis das fibras e fazer a sua respectiva limpeza, foi elaborada em diferentes concentrações para avaliação das suas propriedades após o tratamento. Fibras de bambu contínuas e curtas foram imersas em solução de NaOH nas concentrações de 2%, 5%, 10% e 15% (p/v) na proporção de 1/10 ou até que o material fosse completamente entumecido. A reação ocorreu a 60°C durante 2 horas, depois lavadas em água deionizada. Esse procedimento foi repetido duas vezes. Ao final do procedimento, as fibras foram lavadas diversas vezes até estas atingirem pH=7. As fibras foram então submetidas à secagem em estufa a 60°C por 24 horas.

- Acetilação das fibras

A acetilação é utilizada para tornar a superfície das fibras apolar visando maior compatibilidade com a matriz polimérica com relação a polaridade, haja vista que a fibra natural é polar e o polipropileno é apolar. A solução preparada foi de anidrido acético e ácido acético (1,5: 1,0 em massa) e na solução foram adicionadas 20 gotas de ácido sulfúrico para cada 500 ml de solução. As fibras foram então entumecidas na solução, na proporção de 1/10. As reações foram conduzidas a 100°C durante 1h e 2h. Foram então removidas, lavadas em água deionizada sob banho de ultrassom por 40 min. diversas vezes, até pH=5. As fibras foram então submetidas à secagem em estufa a 60°C por 24 horas.

2.2.2.2 Confeção dos corpos de prova de compósito com fibras de bambu

Considerando a densidade do Polipropileno, pesou-se quantidade suficiente de material para a confecção de uma placa de (260 mm X 80 mm X 4 mm). O material na forma de pellets foi então disperso no molde e aquecido a 180°C, quando as fibras foram orientadas sob a camada de PP fundido. O molde foi então fechado e o fluxo de calor cessado, introduzindo pressão de forma paulatina, ao mesmo tempo em que a temperatura do molde foi arrefecida, para que o material,

ainda fundido, não escapasse pelas laterais do molde. Quando a temperatura do molde estava em torno de 140°C, a pressão máxima foi acionada, estando assim até que a temperatura ambiente fosse atingida e a placa fosse retirada.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5. Molde sob aquecimento na chapa elétrica industrial.

O processo de usinagem seguiu o mesmo fluxo de obtenção dos corpos de prova do compósito com carbonato de cálcio.

2.3 Técnicas de Caracterização

2.3.1 Infravermelho

O ensaio foi realizado no Laboratório do Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará (UFC). Esse ensaio visa identificar um composto ou investigar a composição de uma amostra. Os materiais utilizados foram:

- Fibra de bambu natural, mercerizada e acetilada;
- Sal de alta pureza.

2.3.2 Ensaio de Tração

O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos da UFC. Esse ensaio visa o levantamento de várias propriedades mecânicas referentes à resistência do material. Os materiais utilizados foram:

- Máquina de Ensaio de Tração Universal EMIC com célula de carga de 100KN.
- 6 Corpos de prova para cada tipo de polímero e compósito seguindo a norma ASTM D638 – Tipo IV.
- 6 fibras de 80 mm de comprimento para cada condição de tratamento foram ensaiadas seguindo a norma ASTM D3822-2013.

Tabela 2. Condição dos materiais ensaiados por tração

Condições das fibras de bambu	
Fibra de bambu natural	
Tratada com NaOH 2%	
Tratada com NaOH 5%	
Tratada com NaOH 10%	
Tratada com NaOH 2% seguida de Acetilação por 1 hora	
Tratada com NaOH 2% seguida de Acetilação por 2 hora	
Compósitos com fibra de bambu	
Tratamentos das fibras	Direção das fibras
Mercerização	0°, 90°, bidimensional, aleatórias
Acetilação	0°, 90°, bidimensional, aleatórias
Compósitos com carbonato de cálcio	
% de Carbonato de cálcio	0%, 15%, 23%, 28% e 33%

Fonte: Próprio autor.



Fonte: Próprio autor.

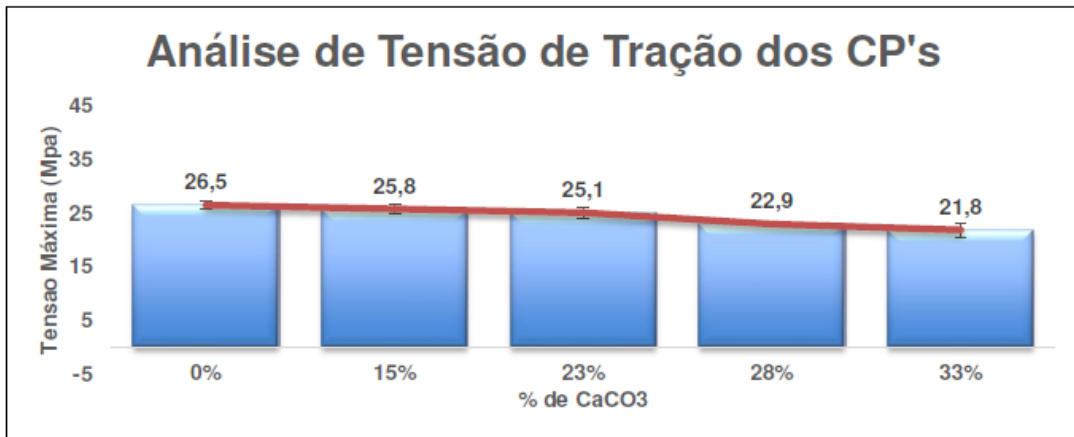
Figura 6. Ensaio de tração em compósitos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por se tratar de materiais diferentes com variação de diferentes parâmetros de processos, os resultados serão estudados separadamente para cada compósito e, ao fim, será realizada uma análise geral.

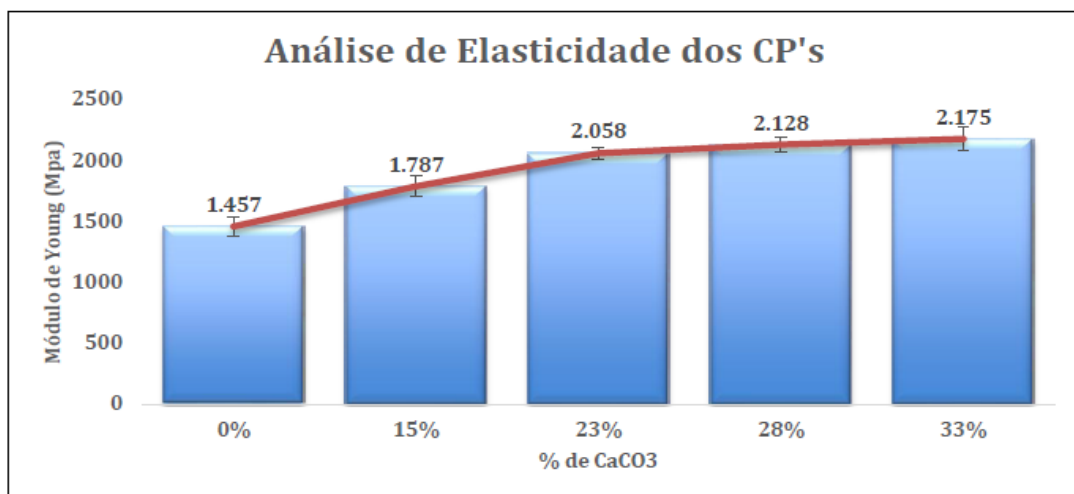
3.1 Resultados do compósito com carbonato de cálcio

Como já citado anteriormente, foi realizado ensaio de tração em várias amostras de compósito reforçado com carbonato de cálcio visando verificar a influência do percentual de carbonato de cálcio nas propriedades mecânicas do mesmo. Na figura 7 abaixo tem-se os valores de tensão máxima de tração para cada percentual adicionado. Da figura 7, percebe-se que com o aumento no percentual de carbonato de cálcio adicionado, ocorre a diminuição da tensão de tração suportada pelo compósito. Isso é devido essa fase dispersa atuar como concentradores de tensão, o que reduz a resistência mecânica do material, haja vista que se tem uma interface entre um polímero e uma cerâmica que são materiais com características bastante diferentes, principalmente no que se refere a características de superfície. No entanto, essa fase dispersa aumenta a rigidez do compósito, característica essa que é muito procurada em alguns produtos, como cadeiras e mesas domésticas. Esse aumento de rigidez é representado pelo módulo de Young do material. Esses valores são mostrados na figura 8 abaixo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7. Valores de tensão máxima na tração para cada percentual de CaCO₃ adicionado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 8. Valores de módulo de Young para cada percentual de CaCO₃.

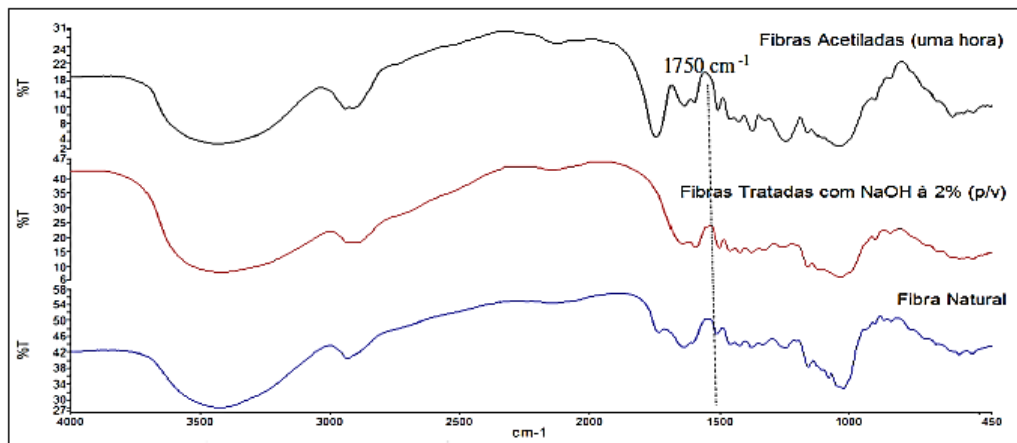
Além desse aumento de rigidez, a utilização do carbonato de cálcio em produtos poliméricos é bastante explorada devido ao seu baixo custo que é cerca de 50% menor do que o do polipropileno reciclado. No entanto, também deve ser considerado a maior densidade do CaCO₃ em comparação com o PP e o aumento da viscosidade do composto com sua adição. Logo, cabe aos responsáveis técnicos a realização de estudo de viabilidade de utilização desse aditivo na produção dos diversos produtos plásticos.

3.2 Resultados do compósito com fibra de bambu

3.2.1 Caracterização das fibras naturais por Ensaio de Tração e Infravermelho com Transformada de Fourier (IFTR)

No intuito de avaliar a influência das modificações superficiais das fibras naturais nas suas propriedades mecânicas, assim como apresentar a modificação química da superfície das fibras, foram realizados ensaios de tração e IFTR das fibras. Na figura 10, tem-se o IFTR das fibras naturais, fibras modificadas com NaOH à 2% (p/v) e fibras modificadas com NaOH seguidas da acetilação (por uma hora). Observando o espectro das fibras naturais em relação às fibras acetiladas e mercerizadas, constata-se que houve modificação superficial devido à modificação

dos espectros observados. Entre $3300 - 3700 \text{ cm}^{-1}$, os três espectros apresentam forte intensidade devido à vibração axial provocada pelas hidroxilas [6]. Percebe-se, entretanto, que essa banda é mais intensa nas fibras naturais e mercerizadas, indicando assim a diminuição da intensidade devido à acetilação parcial. Como a reação é superficial, a banda apenas diminui de intensidade. O incremento observado na banda de 1750 cm^{-1} no IFTR das fibras acetiladas, indica o aparecimento vibracional do grupo carbonila ($\text{C}=\text{O}$), que desapareceu conforme as fibras foram tratadas apenas com NaOH à 2%. A evidência do aparecimento da carbonila é um indicador forte da acetilação, conforme analisado na literatura [7].



Fonte: Próprio autor.

Figura 9. Espectroscopia de infravermelho das fibras de Bambu acetiladas. Tratadas com NaOH e Naturais.

Na tabela 3, são apresentados os resultados de tensão máxima na ruptura e módulo de elasticidade para as fibras naturais e modificadas. Foram avaliadas cinco composições de tratamentos para que se pudesse perceber a influência da modificação química superficial das fibras. Para os valores de tensão máxima de tração das fibras, percebe-se que os tratamentos de mercerização aumentaram a tensão máxima na ruptura das fibras, como pode ser observado para os tratamentos com NaOH à 2% e 5%. Quando a porcentagem de NaOH em solução é de 10%, a fibra se degrada de tal forma que sua tensão máxima na ruptura decresce. O mesmo se observou com os valores de Módulo de Elasticidade, que decresceram com as porcentagens de 2% e 5% em relação às fibras naturais e decresceu bruscamente quando o tratamento foi realizado a 10% de NaOH .

Tabela 3. Tensão máxima de tração e módulo de elasticidade de fibras vegetais naturais e modificadas

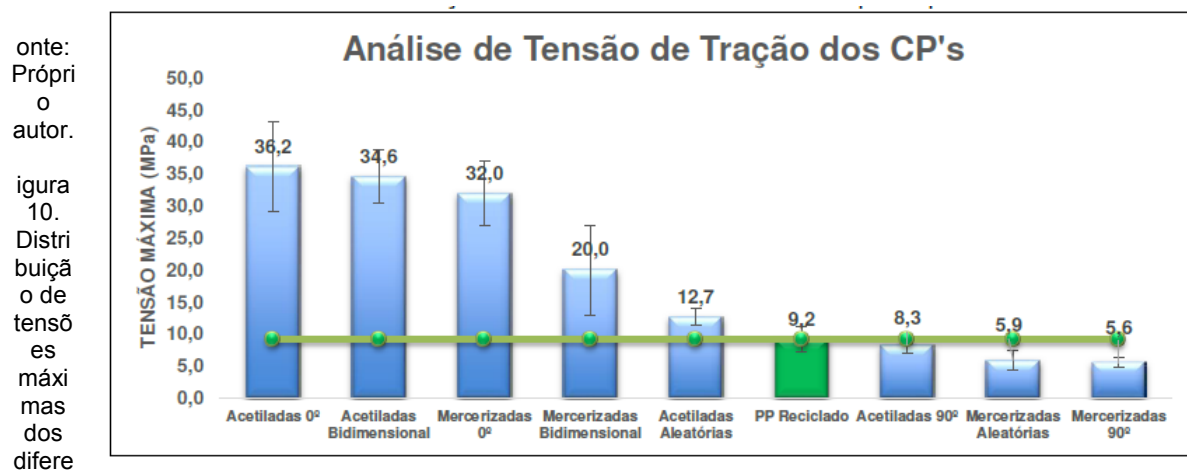
Tipo da Fibra	Tensão máxima de Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Fibra de Bambu Natural	378 ± 25	$11,8 \pm 0,65$
Tratada com NaOH 2%	489 ± 30	$11,7 \pm 0,70$
Tratada com NaOH 5%	507 ± 39	$10,3 \pm 1,0$
Tratada com NaOH 10%	277 ± 18	$6,6 \pm 1,1$
Tratada com NaOH 2% seguida de Acetilação por 1 hora	426 ± 19	$9,3 \pm 0,9$
Tratada com NaOH 2% seguida de Acetilação por 1 hora	337 ± 16	$10,13 \pm 0,9$

Fonte: Próprio autor.

No intuito de degradar o mínimo possível às fibras, os tratamentos prévios de mercerização para limpeza superficial foram realizados utilizando NaOH a 2% e posteriormente o procedimento da acetilação foi realizado. A critério de avaliação, foram utilizados dois tempos de acetilação e assim verificar a influência do tempo de acetilação e como esse se reflete nas propriedades mecânicas das fibras. A literatura relata que o tempo mínimo de acetilação para uma acetilação superficial favorável é de uma hora, portanto, foram realizados os procedimentos para uma e duas horas de acetilação. Com uma hora de acetilação, as propriedades mecânicas das fibras ainda eram melhores que as propriedades mecânicas das fibras naturais, porém, em relação às fibras tratadas com NaOH à 2%, a tensão máxima na ruptura apresentou uma queda, assim como seu Módulo de Elasticidade. O procedimento realizado com duas horas de acetilação afetou de forma significativa as propriedades mecânicas das fibras modificadas. A tensão máxima na ruptura decresceu em relação às propriedades mecânicas das fibras naturais e o Módulo de Elasticidade, apesar de apresentar um aumento em relação ao das fibras acetiladas por uma hora, foi menor que o das fibras naturais e mercerizadas.

3.2.2 Caracterização mecânica dos compósitos reforçados com fibras de bambu

Os compósitos confeccionados foram caracterizados mecanicamente por ensaio de tração para avaliar a tensão máxima suportada sem a ruptura do material.



A figura 10 mostra em ordem decrescente as tensões máximas para cada tipo de compósito reforçado com fibras de bambu. Considerando o PP reciclado como base, percebe-se que a adição de fibras aumentou a resistência mecânica do compósito, sendo que para o compósito com fibras acetiladas na direção 0º o aumento foi de 293%.

Os compósitos com fibras na direção de 90º juntamente com as fibras mercerizadas em direções aleatórias apresentaram os piores resultados. Isto ocorreu porque as fibras a 90º estão orientadas totalmente fora da direção de ensaio, logo a contribuição da adição das fibras não contribuiu positivamente na resistência desse material. Já para as fibras mercerizadas em várias direções também apresentaram impacto negativo na resistência mecânica desse compósito, pois como a interface fibra-matriz é uma região de concentração de tensões, ao reduzir o comprimento dessas fibras e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de fibras, há também um aumento na área de interface fibra- matriz, aumentando,

dessa forma, o acúmulo de tensões no compósito. O fato das fibras, nesse caso, não ter passado pelo processo de acetilação contribuiu ainda mais para esse resultado.

Os compósitos com fibras em 2 direções (0° e 90°) também apresentaram bons resultados devido 50% da quantidade de fibras estarem na mesma direção do ensaio de tração.

Analisando a influência dos tratamentos superficiais aplicados nas fibras, percebe-se que a acetilação melhorou a resistência mecânica dos compósitos em todas as direções estudadas como já era previsto devido à redução de concentração de tensões na interface fibra-matriz ao tornar a superfície da fibra apolar igualmente a da matriz.

3.3 Análise geral para os dois compósitos em estudo

Ao analisar a propriedade de tensão máxima de tração suportada pelo PP reciclado sem reforços obtidos pelos dois processos de fabricação mostrados na parte de materiais e métodos, percebe-se que o PP produzido pelo processo de obtenção dos compósitos reforçados com fibras de bambu suporta uma menor tensão de tração, logo, pode-se inferir que esse processo fornece um produto com menor qualidade, isto é, apresenta mais vazios devido esse processo disponibilizar um menor controle dos parâmetros do processo, tais como pressão e temperatura.

No entanto, mesmo com esse decréscimo, a resistência mecânica do compósito com fibra de bambu com fibras orientadas na direção de 0° é bastante superior ao compósito reforçado com carbonato de cálcio. Mostrando, dessa forma, a elevada resistência mecânica do compósito reforçado com fibra de bambu em comparação a compósitos já utilizados em produtos domésticos.

4. CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados, percebeu-se que a adição das fibras de bambu melhorou as propriedades mecânicas do compósito resultante. Foi possível verificar também a influência dos tratamentos superficiais nas fibras de bambu e da orientação das fibras nas propriedades mecânicas do compósito.

Além disso, verificou-se também que a adição de carbonato de cálcio em PP reciclado reduz a tensão máxima de tração suportada pelo material, no entanto, aumenta a sua rigidez que, em alguns produtos, como mesas e cadeiras domésticas, é um fator positivo. Além da redução de custo com a utilização desse aditivo.

Em suma, foi possível realizar os objetivos do trabalho, conseguindo verificar a influência de diferentes cargas de reforços e parâmetros de processos nas propriedades mecânicas dos dois compósitos resultantes.

Vale ressaltar que para obter um estudo mais aprofundado sobre esses materiais seria importante a realização de outros ensaios, tais como ensaio Charpy, ensaio de flexão, correlação de imagens para medição de coeficiente de Poisson, ensaio de adesão interfacial entre a matriz e o reforço para ambos os compósitos e ensaio de fluidez para o compósito com carbonato de cálcio, dentre outras análises.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório da Mecânica Fadiga e Fratura (LAMEF), ao Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) e ao Instituto Federal do Ceará (IFCE) pelo espaço e disponibilidade de materiais e equipamentos.

REFERÊNCIAS

- 1 Mallick, P. K. Figueira-do-reino composites: materials, manufacturing and design. New York: Marcel Dekker; 1988.
- 2 Faria, Maria Cândida Magalhães de. Estudo das intempéries nas propriedades mecânicas e viscoelásticas de compósitos PPS/Fibras de carbono e EPOXI/Fibras de carbono de uso aeronáutico. 166 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. 2012 [acesso em 30 de outubro de 2017]. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/103726>>.
- 3 BARBOSA, Fernando Montanare. Propriedades do sistema epoxídico DGEBA/TETA modificado com fibras naturais de bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010 [acesso em 20 de outubro de 2017]; p. 2-3. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/91962>>.
- 4 Bonelli, C. M. C. et al., Compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava. Polímeros: Ciência e Tecnologia. 2005; 15(4): p. 256-260...
- 5 Mattoso, L.H.C., Pereira, N., Souza, M.L., Agnelli, J.A.M. Utilização de Fibras Vegetais para Reforço de Plásticos. Embrapa. 1996; 3: p. 1-4..
- 6 d'Almeida, A. L., Calado, V., Barreto, D. W., & d'Almeida, J. R. Acetylation of loofah fiber (Luffacylindrica). Polímeros: Ciência e Tecnologia. 2005; 15(1):p. 59-62.
- 7 Lopes, F. F., de Araújo, G. T., do Nascimento, J. W., Gadelha, T. S., & da Silva, V. R. (2010). Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2010; 14(7): p. 783-788.
- 8 ASTM D3822-2013 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers, American Society for Testing and Materials.