



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica,
CREEM 2019
19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

OBTENÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM MATRIZ EPÓXI REFORÇADOS COM FIBRA DE TALO DE CARNAÚBA

Lucas Emanuel Sales da Silva, lucasbacatela.engenharia@gmail.com²

Filipi Marques de Souza, filipi.souza@ufob.edu.br¹

Virgínia Bezerra Oliveira Campos, vibezerra@hotmail.com³

Anderson Breno Souza, Anderson.souza@ufob.edu.br¹

Miguel Ângelo de Oliveira Shaw, eng.miguel.shaw@gmail.com¹

Eduardo Pinheiro dos Santos, ardo1380@gmail.com¹

¹ Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), 1100, Av. Dr. Manoel Novaes, bairro; Centro, 1028, Bom Jesus da Lapa - BA

² Universidade Federal rural do Semi-árido (UFERSA), Avenida Universitária "Leto Fernandes", Sítio Esperança II, Carauabas - RN

³ Universidade Federal do Cariri (UFFCA), Rua Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Barbalha - CE

Resumo. O objetivo dessas investigações é determinar as propriedades mecânicas dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de talo de carnaúba e comparar os resultados obtidos com as propriedades mecânicas de compósitos de reforços sintéticos (Por exemplo: fibra de vidro, de carbono, aramida) e através da comparação concluir se é viável a substituição dos reforços sintéticos e reforços de outras fibras naturais para fins de aplicações estruturais. Para realização da experiência, foram destacadas as fibras do talo de carnaúba, tratadas e a partir delas foram fabricados os corpos de prova. Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração (para 0° e 90° em relação à orientação das fibras) monitorado por computador. Os resultados obtidos mostraram que as fibras de carnaúba podem substituir outras fibras naturais comumente encontradas no mercado (sisal, carauá, juta). No entanto, ficou evidenciado a enorme distância entre os valores de resistência a tração e módulo de elasticidade dos compósitos com reforços sintéticos e compósitos com reforço de fibra de carnaúba, tornando inviável a substituição.

Palavras chave: Fibras naturais. Materiais compósitos. Propriedades mecânicas. Talo de carnaúba.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos ocupam uma vasta gama de aplicações e tem ganhado cada vez mais espaço nas aplicações em engenharia pela sua capacidade de unir as propriedades de suas fases em um único material (Gutiérrez, *et al.*, 2012). A principal característica dos compósitos que os tornam tão atrativos é a sua resistência específica. Essa propriedade alia um baixo peso com um alto valor de resistência. Porém, seu alto custo de fabricação, complexidade de obtenção e os danos causados ao meio ambiente através de sua fabricação e descarte são fatores que vem chamando atenção. Na tentativa de minimizar os impactos negativos causados pela necessidade de uso desse material, o estudo acerca dos compósitos de origem natural vem crescendo fortemente. As indústrias veem nos compósitos naturais uma saída econômica para resolver a demanda existente por materiais compósitos, visto que são de obtenção, processamento e manufatura mais baratos em comparação com os sintéticos e ainda existe a grande vantagem de serem biodegradáveis, reduzindo vertiginosamente o impacto ambiental causado pelo seu descarte. A grande desvantagem dos compósitos de reforço natural ainda é a sua pouca exploração e falta de dados acerca de suas propriedades mecânicas.

Existem diversos tipos de fibras naturais entre fibras de origem animal e vegetal. O presente estudo se volta para as fibras de origem vegetal. A literatura trás o estudo de diversos tipos de compósitos reforçados por fibras naturais, destacando-se entre eles: reforço com fibra de curauá segundo Monteiro, *et al.*, (2006), com fibra de sisal segundo Joseph *et al.* (1999), com fibra de juta segundo Moreno, *et al.*, (2015), com fibra de abacaxi segundo Fernandes (2012a) e com fibra de carnaúba segundo Fonseca, *et al.*, (2016a) e no presente trabalho. A matéria prima que será a protagonista e a base do presente estudo será a *copernicia prunifera*, popularmente conhecida como carnaúba. É uma palmeira encontrada na região nordeste do Brasil em margens de rios e lagos. Dela também podem ser fabricados produtos de artesanais, papel artesanal e até ração animal e até podendo servir para um fim mais sofisticado tecnologicamente que é o caso dos compósitos reforçados pelas fibras de seu talo (Câmara setorial da carnaúba, 2009).

Um bom exemplo de utilização de compósitos reforçados com fibras sintéticas e suas consequências são as pás eólicas. Segundo Praciano, *et al.*, (2014), pode-se observar que o descarte das pás de turbinas eólicas causarão impactos ambientais no futuro, pois as mesmas são fabricadas com compósitos reforçados por fibras sintéticas. Aqui existe uma oportunidade de tornar a geração eólica ainda mais sustentável e a barata através a substituição de fibras sintéticas pelas

fibras vegetais como reforço. Essa janela de oportunidade é apenas um exemplo de como as fibras naturais podem se tornar um fator econômico gerando renda e empregos nas regiões onde elas ocorrem a partir da exploração das mesmas, e também um fator social desenvolvendo as regiões e aumentando o a qualidade de vida de seus habitantes, dando-lhes mais uma saída para geração de sua renda.

2. METODOLOGIA

Nessa sessão serão apresentados quanto aos métodos de obtenção dos corpos de prova bem como aos procedimentos experimentais que tornaram possível a obtenção e análise dos resultados.

2.1 DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados no presente trabalho foram: talos de carnaúba, resina poliéster, uma placa confeccionada pelos autores para garantir o alinhamento das fibras e uma máquina universal de ensaios de 30kN.

Os talos de carnaúba (Fig. 1), ainda verdes, foram colhidos, separados e enviados para realização de análise micro estrutural. Durante a análise foram avaliados comprimento e largura dos talos de carnaúba para que fossem determinados e selecionados os que possuíam fibras de dimensões mínimas para a confecção dos corpos de prova. Dos talos de Carnaúba selecionados foram retiradas as fibras manualmente e com o auxílio descascador de legumes, tomando de toda cautela no processo para não danificar a integridade das mesmas.

Figura 1. Talo de carnaúba



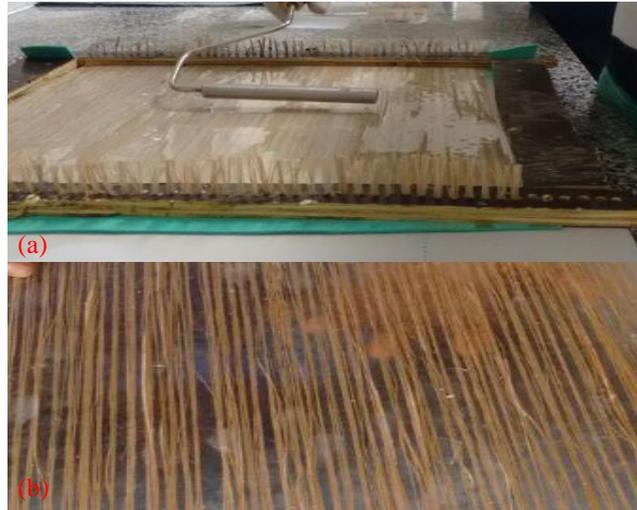
Após a retirada das fibras, estas foram dispostas em uma superfície de madeira para passar pelo processo de secagem. Realizado o processo de secagem e tendo retirado grande parcela de umidade das fibras, estas foram então organizadas em formas de mexas sendo adotando como padrão seis fibras por mecha, como pode ser visualizado na Fig. 2 (a). Para a obtenção do compósito foi necessária à fabricação de placas concebidas em madeiras para alinhar as fibras na mesma direção e acomodar as fibras e a fase matriz do compósito. As dimensões da placa eram de 350 mm x 360 mm com orifícios nas extremidades espaçados em 7 mm para garantir a uniformidade da distribuição de fibras como visto na Fig. 2 (b).

Figura 2. (a) Fibras de carnaúba organizadas em formas de mexas. (b) Placa contendo as fibras tratadas e organizadas em formas de mexas



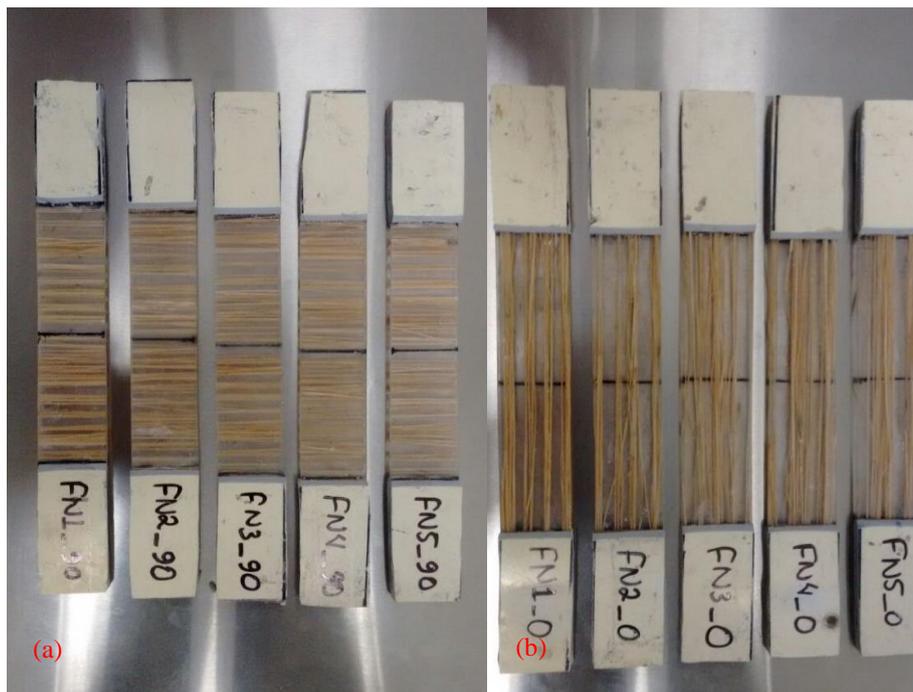
Com as fibras já acomodadas seguiu-se da seguinte forma o preparo da matriz polimérica. Primeiramente, foram pesadas as proporções de resina e catalizador (agente que promove a solidificação dos polímeros termorrígidos) em um recipiente. Logo após, a mistura foi depositada e espalhada sobre a placa contendo as fibras. O espalhamento foi feito com o auxílio de um rolo (Fig. 4) e sua finalidade foi a de homogeneizar toda a superfície de modo que houvesse a mesma proporção de resina em cada ponto da placa e principalmente a mesma proporção de resina em cada mecha. O resultado final da aplicação pode ser observado na Fig. 5.

Figura 3. (a) Processo de espalhamento de resina sobre a placa. (b) Placa do material compósito já com resina aplicada com as dimensões de 0,35 x 0,36 m



Para o término do processo de preparo do compósito ainda seria necessário aguardar até que o processo de cura (ou polimerização) estivesse completo, processo este que levou por volta de vinte e quatro horas até a cura total da resina. Ao fim da cura total e do desmolde foi possível a obtenção dos corpos de prova propriamente ditos, destacados de acordo como dita a norma ASTM D 3039-14, com dimensões de 250 x 15 x 1 mm, para ensaio de tração em um ângulo de 0° como mostra a Fig. 6 (a) e com as dimensões de 175 x 25 x 1 mm, para ensaios de tração em um ângulo de 90° como mostra a Fig. 6 (b).

Figura 4. Placa do material compósito da fibra do talo de carnaúba, (a) para ensaio com carga aplicada do sentido da fibra e (b) com a fibra em perpendicular a aplicação da carga.



2.2 DOS MÉTODOS UTILIZADOS

O procedimento para a determinação das propriedades mecânicas do compósito com reforço de fibra de carnaúba teve início com a obtenção dos corpos de prova. Para tal foi utilizado o processo de ensaio de tração realizado pela máquina de ensaios universal que conta com uma capacidade máxima de trinta quilonewtons (30 kN). Os corpos de prova foram acomodados nas garras da máquina de ensaio como mostram as Fig. 7 (a) e Fig. 7 (b) onde estão prontos para o ensaio e assim sendo deu-se o início a aplicação gradual de tensão.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 3039-14 para esse tipo de procedimento. Os parâmetros utilizados para o ensaio estão tabelados abaixo:

Tabela 2. Parâmetros utilizados para realização do ensaio de tração

Dimensões dos corpos de prova (mm x mm x mm)	250 x 15 x 1 (0°) 175 x 25 x 1 (90°)
Velocidade de aplicação da carga (mm/min)	1
Célula de carga (kN)	30
Temperatura (°C)	25° ± 5°

As Eq. (1), (2) e (3) presentes de Hibbeler (2010) são utilizadas para obter os valores de tensão, deformação e módulo de elasticidade, respectivamente:

$$\sigma = \frac{P}{S_0} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l} \quad (2)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

Onde σ é a tensão, ϵ é a deformação, P é carga aplicada no ponto, S_0 inicial a área da seção transversal do corpo de prova e E é o módulo de elasticidade, l_0 é comprimento inicial e l é comprimento final.

Figura 5. Corpo de prova pronto para ensaio. (a) Detalhe da fixação do corpo de prova à máquina de ensaio (b) Máquina universal de ensaio com corpo de prova para realização do ensaio.



Ao fim do ensaio de tração os dados foram coletados para análise assim como as partes dos corpos de prova para que pudesse ser feita a análise no local da falha visando determinar possíveis características da falha e de como ela ocorreu, enriquecendo ainda mais a presente investigação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos pelo ensaio de tração sobre os corpos de prova foram colhido através do computador que se encontrava interligado a máquina de tração. A partir dos dados exibidos pelo computador foi possível, com o auxílio de Eq. (1), (2) e (3) e do software Excel, traçar o gráfico tensão x deformação e as propriedades mecânicas desejadas, a saber, resistência a tração e módulo de elasticidade. Com os dados disponíveis foi possível a realização da comparação com outros compósitos de reforço sintético. A literatura mostra o que é possível à aplicação de fibras naturais na fabricação de materiais compósitos (Spinacé, 2009; Bledzki, *et al.*, 1996).

As Fig. 8 e Fig. 9 mostram os gráficos gerados pelas médias dos dados colhidos no ensaio de tração, totalizando cinco ensaios para cada orientação das fibras.

Com o auxílio das equações apropriadas foram determinados os valores para o limite de resistência a tração e o módulo de elasticidade para ambas as orientações das fibras, conforme apresentado na Tab. 3 e na Tab. 4.

Figura 6. Gráfico: tensão x deformação para orientação das fibras em 0°

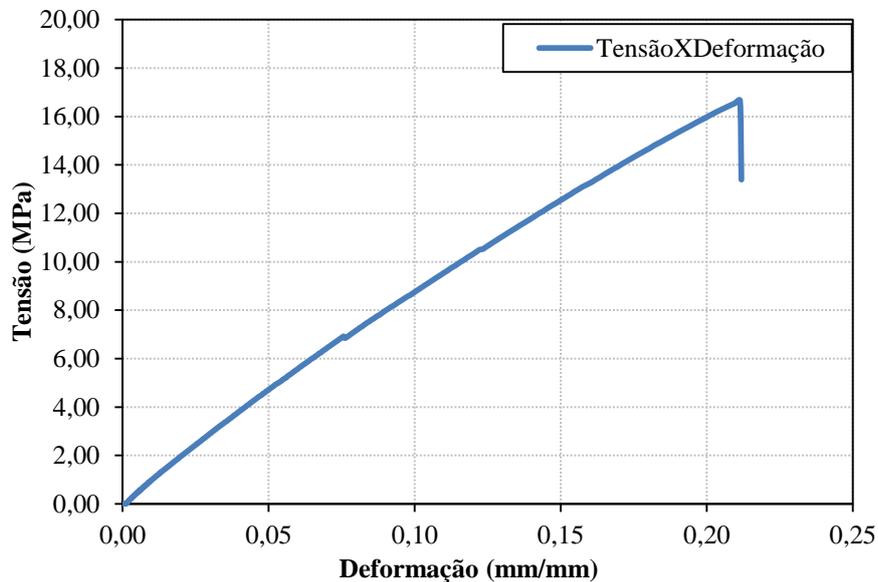


Figura 7. Gráfico: tensão x deformação para orientação das fibras em 90°

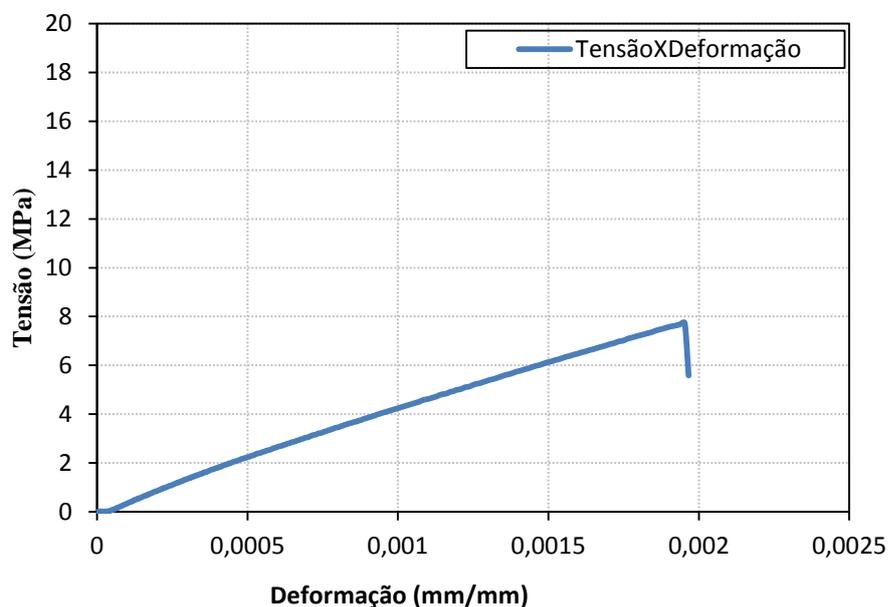


Tabela 3. Resultados das propriedades mecânicas para fibras com orientação à 0°.

Limite de Resistência a Tração	Modulo de Elasticidade
16,70 Mpa	78,80 Mpa

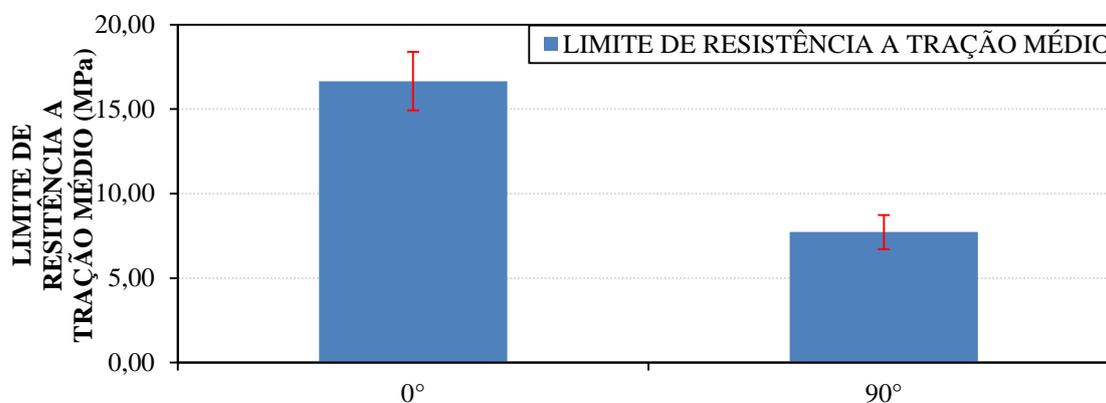
Tabela 4. Resultados das propriedades mecânicas para fibras com orientação à 90°.

Limite de Resistência a Tração	Modulo de Elasticidade
7,00 MPa	2,02 GPa

Os gráficos da Fig. 9 apresentam o desvio padrão dos dados coletados e dispostos nos gráficos das Fig. 7 e 8 e dos dados obtidos analiticamente das Tab. 3 e 4.

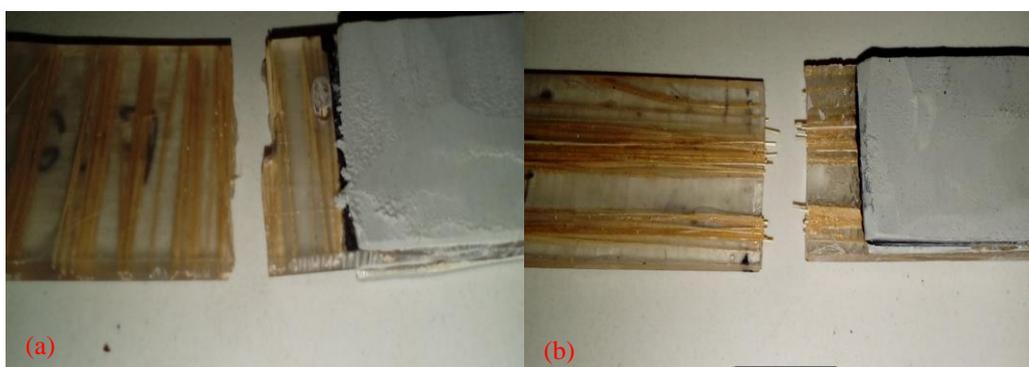
Em comparação com os dados disponíveis na literatura, temos em Fonseca, *et al.*, (2016b), os resultados obtidos para limite de resistência a tração foi de 82 MPa e um Módulo de elasticidade com valor de 0,01 GPa para ensaio realizado no sentido da fibra do talo da carnaúba. Percebe-se uma clara discrepância entre os valores obtidos. Esse fato se dá em grande parte pelo tratamento ao qual foram submetidas às fibras em ambos os trabalhos. Os autores anteriormente citados utilizaram-se de camadas bem mais espessas do talo da carnaúba. Também é possível cogitar a possibilidade de se ter danificado as camadas que são responsáveis pela rigidez das fibras. Tais camadas são formadas basicamente por celulose, um carboidrato que possui plasticidade, elasticidade e resistência à tração. Devido a grande discrepância encontrada entre as duas experiências não será possível à comparação entre ambas. Para outras autores os valores encontrados encontram-se dentro da faixa de tolerância, como é o caso em Carvalho (2011a) onde se pode observar que o limite de resistência a tração para fibra de carnaúba varia entre 15-28 MPa para Fibra tratadas e não tratadas.

Figura 8. Valor médio do Limite de resistência à tração e o desvio padrão, para ensaio com os corpos de provas no sentido da fibra e perpendicular a fibra.



Outras falhas foram devidas ao não tratamento superficial adequado das fibras, que fez com que os valores das propriedades na direção perpendicular (90°) não tenham sido encontrados adequadamente. As Fig. 10 (a) e 10 (b) evidenciam que as falhas na direção perpendicular e até algumas na direção das fibras (0°) ocorreram na interface matriz-reforço quando o ideal é que tivessem ocorrido no reforço, uma vez que a matriz atua como um meio que transmite as tensões externas para serem suportadas pela fase do reforço.

Figura 9. Regiões de falha dos corpos de prova. (a) Falha na interface matriz-reforço a 90°. (b) Falha na interface matriz-reforço a 0°



Ao término do presente trabalho conclui-se que o compósito reforçado com fibras do talo de carnaúba possui propriedades aproximadas e em alguns casos até superiores a outras fibras naturais, como as fibras de curauá, sisal e da coroa do abacaxi, como mostra a literatura em: Martins Neto (2016) compósitos de fibras de sisal possuem o limite de resistência a tração entre 15-23 MPa e o módulo de elasticidade 2-5 GPa, em Fernandes (2012b) compósitos reforçados com fibras da coroa do abacaxi possuem o limite de resistência a tração varia entre 19-22 MPa e o módulo de elasticidade é de 0,4-0,5 MPa e em Bispo (2011) para compósitos reforçados com fibras de Curauá o limite de resistência a tração está entre 25-28 e o módulo de elasticidade em torno de 1 MPa. O mesmo pode ser observado comparando – se os resultados deste trabalho com os valores presentes em Carvalho, (2011b); Bismarck, *et al.*, 2005, para algumas fibras sintéticas (Exemplo: kevlar e vidro). Também se conclui que o tratamento superficial deficiente contribuiu negativamente para a os valores obtidos, ou seja, para um bom acabamento superficial os valores das propriedades mecânicas do compósito epóxi reforçado com fibras do talo da carnaúba serão ainda melhores.

5. CONCLUSÕES

Com a conclusão das presentes investigações, conclui-se que:

- É inviável a substituição de compósitos reforçados por fibras sintéticas (vidro, carbono) pelos compósitos reforçados com fibras de talo de carnaúba para fins estruturais;
- O compósito reforçado com fibras do talo de carnaúba possui propriedades aproximadas em alguns casos até superiores a outras fibras naturais, como as fibras de curauá, sisal e da coroa do abacaxi como mostrados nos resultados;
- Com esses resultados as fibras do talo da carnaúba substituem potencialmente as demais fibras naturais citadas no trabalho;
- Realizando o acabamento superficial fibras do talo da carnaúba é possível melhorar os resultados, pois reduz as imperfeições superficiais das fibras reduzindo as concentrações de tensão;
- Devido ao rompimento da camada que fornece rigidez no momento de separar as fibras pode ter contribuído com baixos os valores das propriedades mecânicas do compósito quando comparados com os valores óbitos por Fonseca, *et al.*, (2016c).

6. REFERÊNCIAS

- Bispo, Sistanley Jones Lima. 2011. *Estudo das propriedades mecânicas de biocompósitos de polipropileno reforçados com fibras naturais*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Bledzki, A. K.; Reihmane, S.; Gassan, J. 1996. “Properties and Modification Methods for Vegetable Fibers for Natural Fiber Composites”. *Journal Of Applied Polymer Science*. p. 1329-1336.
- Câmara setorial da carnaúba. 2009. *A carnaúba: preservação e sustentabilidade*. Câmara Setorial da Carnaúba. - Fortaleza: Câmara Setorial da Carnaúba.
- Carvalho, Luiz Fernando Meneses., 2011. *Tratamentos de fibras de carnaúba [Copernicia prunifera (Miller) H.E. Moore] par o desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de polihidroxibutirato*. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Fernandes, Rafael Inácio Marcondes., 2012. *Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais modificadas e híbridos: Fibras da coroa do abacaxi/polipropileno e fibras da coroa do abacaxi/fibras de vidro/polipropileno*. TCC (Graduação) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Fonseca, M. H. de F.; Lucena Júnior, U. P. de; Lima, R. O. C., 2016. “Análise das propriedades mecânicas de um compósito natural desenvolvido com fibra de carnaúba”. *CBECIMAT2016*. Natal, Brasil.
- Gutiérrez, Miguel Chávez; *et al.*, 2012. “Biocomposites based on cellulose acetate and short curauá fibers: Effect of plasticizers and chemical treatments of the fibers”. *Composites: Part A*, Vol. 43, p.1338-1346.
- Hibbeler, R. C., 2010. *Resistência dos Materiais*. Pearson Prentice Hall, São Paulo. 10ª edição.
- Joseph, Kuruvilla; Medeiros, Eliton S.; Carvalho, Laura H., 1999. “Compósitos de Matriz poliéster Reforçados por Fibras Curtas de Sisal. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Campina Grande”, p.1-6.
- Martins neto, José Antônio. 2016. *Obtenção, Caracterização e Utilização de um Compósito com Matriz de Resina Poliéster e Carga de Fibras de Sisal*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Lucas Emanuel Sales da Silva, Filipi Marques de Souza, Virgínia Bezerra Oliveira Campos, Anderson Breno Souza, Miguel Ângelo de Oliveira Shaw e Eduardo Pinheiro dos Santos.

Obtenção das propriedades mecânicas de compósitos com matriz epóxi reforçados com fibra de talo de carnaúba

Monteiro, Sergio N. *et al.*, 2006. “Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá”. *Revista Matéria*. v. 11, n. 3, p.197-203.

Moreno, Anderson *et al.*, 2015. “Obtenção e caracterização de compósito sanduíche de poliamida 11 e fibra de juta”. *Revista de Extensão e Iniciação Científica Unisociesc*, v. 2, n. 2, p.9-15.

Praciano, Aline Castro *et al.*, 2014. “Avaliação da fibra de carnaúba na produção de compósitos para fabricação de pás eólicas”. *CONBEA2014*, Campina Grande, Paraíba.

Spinacé, M. A. S. *et al.*, 2009. “Characterization of lignocellulosic curaua fibres”. *Carbohydrate Polymers*. v. 77, p. 47-53.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.