

CARACTERÍSTICAS DE COMPÓSITOS DE FIBRAS DE PALHA DA COSTA (*Raphia vinifera*) COM RESINA POLIÉSTER¹

*Deibson Silva da Costa*²

*Wassim Raja El Banna*³

*Diego Ferreira Almeida*⁴

*Eduardo de Jesus Silva Dos Santos*⁴

*Carlos Eduardo Pinto Lopes*⁴

*Lírian Said de Lima*⁴

*Roberto Tetsuo Fujiyama*⁵

Resumo

O trabalho mostra resultados da caracterização mecânica e microestrutural de compósitos de fibras de palha da costa (*Raphia Vinífera*). As fibras foram adquiridas da região metropolitana de Belém-PA e cortadas manualmente nos comprimentos de 5, 10 e 15 mm. A fabricação dos compósitos foi de maneira simples através de moldagem manual, sem compactação ou pressão. Foram fabricados 8 (oito) corpos de prova para cada série de compósitos fabricados de cada comprimento de fibra. A caracterização mecânica foi realizada através de ensaio de tração e caracterização microestrutural realizou-se através de microscopia estereoscópica. Os resultados comprovaram o bom desempenho mecânico dos compósitos e identificaram as falhas presentes nas superfícies fraturadas.

Palavras-chave: Materiais sustentáveis; Fibras palha da costa; Propriedade mecânica; Materiais compósitos.

CHARACTERISTICS FIBRE COMPOSITE OF COAST STRAW (*Raphia vinifera*) WITH POLYESTER RESIN

Abstract

The paper shows the results of mechanical and microstructural characterization of fiber composites raffia (*Raphia Vinifera*). The fibers were acquired in the metropolitan region of Belém-PA and manually cut in lengths of 5, 10 and 15 mm. The fabrication of composites was simply through manual molding, no compression or pressure. Were manufactured 8 (eight) specimens for each series of composites made from each length of fiber. The characterization was performed by tensile testing and microstructural characterization was performed by stereoscopic microscopy. The results confirmed the good mechanical performance of composites and identified gaps present in the fractured surfaces.

Key words: Sustainable materials; Coast straw fibers; Mechanics property; Composite materials.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engenheiro mecânico. Me, Professor, Faculdade de Engenharia Mecânica, ITEC, UFPA, Belém, PA, Brasil; deibsonsc@yahoo.com.br*

³ *Engenheiro mecânico. Me, Professor, Faculdade de Engenharia Mecânica, ITEC, UFPA, Belém, PA, Brasil.*

⁴ *Graduando, Faculdade de Engenharia Mecânica, ITEC, UFPA, Belém, PA, Brasil.*

⁵ *Engenheiro mecânico. Dr, Professor Adjunto, PPGEM, ITEC, UFPA, Belém, PA, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Na última década tem havido um rápido desenvolvimento na área de compósitos reforçados por fibras vegetais. As fibras celulósicas possuem muitas características que tornam seu uso vantajoso como: baixo custo, baixa densidade, resistência específico e módulo elevados, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo, não são tóxicas, podem ser facilmente modificadas por agentes químicos, são abundantes e provém de fontes renováveis. Suas propriedades mecânicas são comparáveis à de outros reforços comumente empregados. As fibras vegetais são bem mais baratas do que as fibras sintéticas e podem substituí-las em muitas aplicações onde o custo é fator mais importante do que a resistência.⁽¹⁾

O emprego de materiais compósitos como materiais de engenharia têm ganhado cada vez mais espaço em vários segmentos da indústria. Isso ocorre pelo fato desses materiais possibilitarem uma boa sinergia na interação entre os diferentes componentes que o formam, dando como resultado uma gama de propriedades inerentes ao material, e atribuições – econômicas, ambientais etc. – mais interessantes do que as dos componentes que o formam.⁽²⁾

Palha da costa é a fibra de ráfia, conhecida como iko pelo "povo do santo", extraída de uma palmeira chamada Igí Ògòrò pelo povo africano. No Brasil, recebe o nome de Jupatí (Palha da costa), cujo nome científico é *Raphia vinifera*.

As espécies vegetais produtoras de fibras desempenham papel importante na economia familiar de muitas comunidades amazônicas, tanto com a venda de matéria prima como de produtos manufaturados. Dentro desse contexto encontra-se a família Arecaceae, produtora de matéria prima na confecção de objetos trançados, construções em geral. A espécie *Raphia vinifera* (Figura 4). Vulgarmente conhecida como jupatí (Palha da costa), é largamente utilizada pelas populações ribeirinhas na confecção dos diversos objetos do dia-a-dia das mesmas, principalmente o matapí para a captura do camarão. O município de São Sebastião da Boa Vista (PA), inserido na microrregião dos furos de Breves (PA), pertencente à mesorregião do Marajó se destaca na confecção de diversos objetos artesanais. A Figura 1 mostra a árvore de palha da costa.



Figura 1. Planta palha da costa.⁽³⁾

A tala (Figura 2) é o revestimento externo do pecíolo, constituída por fibras duras, utilizada na fabricação do matapí, parí, cestas, balaios, paneiros, armações de pipas e gaiolas para passarinhos, enquanto as fibrilas são originadas da medula, que é a parte interna do pecíolo constituída por um tecido parenquemático que envolve as fibrilas. Essas se apresentam compridas, cilíndricas, macias, amarelo-brilhantes e são usadas na confecção de chapéus, bolsas e revestimento de garrafas.⁽⁴⁾

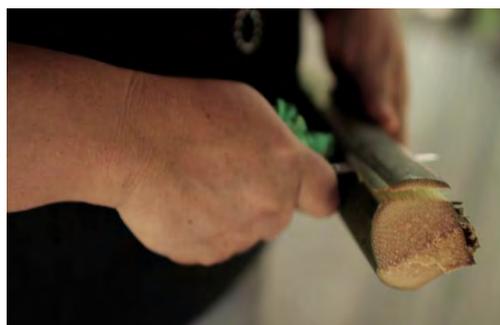


Figura 2. Tala da planta palha da costa.⁽³⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Resina poliéster

O polímero utilizado no desdobramento da atividade foi à resina poliéster tereftálica insaturada encontrada na região comercial de Belém, sua denominação Denverpoly 754. O Agente de cura dos compósitos foi peróxido MEK (butanox M-50), nas proporções de 0,33% v/v (Figura 10).

2.1.2 Fibra palha da costa (Raphia Vinifera)

A partir dos talos adquiridos da planta palha da costa foram seccionados no comprimento de 50 cm, posteriormente extraíram-se as fibras (Figura 3) procurando obter o menor diâmetro possível, assim obtiveram-se a fibras curtas de 5, 10 e 15 mm.



Figura 3. Fibra palha da costa.

2.2 Metodologia de Fabricação do Compósito

Para fabricar os compósitos, foram utilizados três moldes de silicone assegurando comportar no mínimo 4 lacunas para vazamento do compósito. Tais lacunas foram superdimensionadas para que após a solidificação, o corpo de prova pudesse ser lixado sem comprometer as dimensões descritas na norma ASTM D 638.⁽⁵⁾ A escolha do silicone para produção dos moldes deve-se ao fato de ele manter uma consistência conformável quando solicitado mecanicamente e de facilitar a desmoldagem do compósito.

2.3 Fabricação de Corpos de Prova

As fibras foram adquiridas no comércio de Belém-PA e armazenadas em um recipiente evitando assim o efeito da umidade e de alguns efeitos atmosféricos. Como é mostrado na Figura 4.

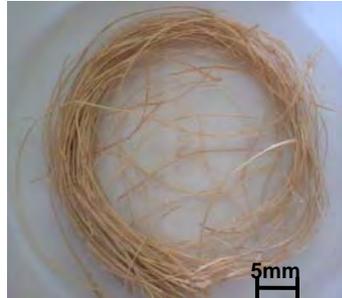


Figura 4. Fibra palha da costa armazenada.

Após a retirada da quantidade necessária das fibras, utilizaram-se papéis milimetrados com as medidas pré-determinadas de 5 mm, 10 mm e 15 mm (Figuras 5), para a confecção dos corpos de prova.

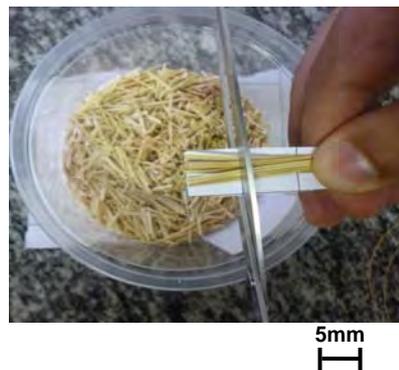


Figura 5. Corte da fibra no papel milimetrados.

Para as medições das frações mássicas e quantidades referidas de resina e catalisador, foi utilizada uma balança digital de precisão que deu maior confiabilidade na fabricação do compósito.

Os corpos de prova (Figura 6) foram obtidos para atender as dimensões exigidas pela norma ASTM D 638.⁽⁵⁾ Ao total foram fabricados 8 corpos de prova para cada comprimento de fibras de palha da costa (5 mm, 10 mm e 15 mm) totalizando 24 corpos de prova.

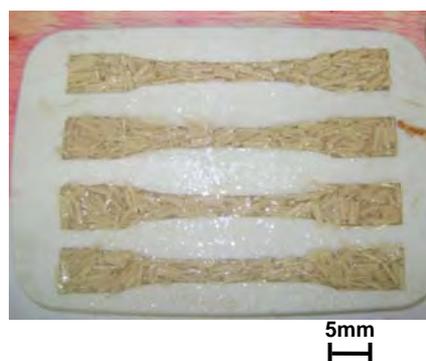


Figura 6. Corpos de prova moldados.

2.4 Procedimentos de Ensaio

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638⁽⁵⁾ e seguiram as medidas como mencionada na norma (Figura 7).

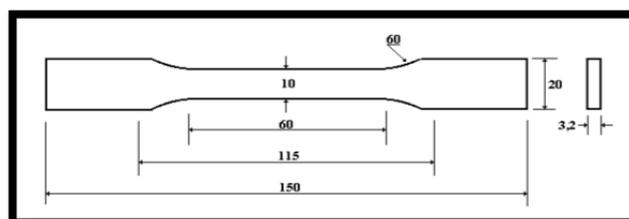


Figura 7. Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaio de tração (sem escala).⁽⁵⁾

Os corpos de prova foram produzidos a partir de moldes de silicone para os ensaios com matriz pura e reforço de fibra curta de palha da costa. Os ensaios foram realizados e utilizou-se uma máquina universal fabricada pela KRATOS COF, modelo MKCA - KE com uma carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min, conectado ao sistema computacional para análise do comportamento mecânico durante ensaio do corpo de prova, no laboratório de ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Pará - UFPA. A Figura 8 ilustra a máquina de ensaio utilizada para a realização dos ensaios de resistência à tração.



Figura 8. Máquina de ensaio de tração.

2.5 Análise da Superfície Fraturada

A partir do ensaio de tração pode ser identificar o que ocorreu na região de fratura dos corpos de prova, para analisar o que levou a romper na área de rompimento da matriz com reforço das fibras palha da costa (Figura 9).



Figura 9. Corpo de prova rompido.

5mm

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resultados dos Ensaios

Serão mostrados os resultados das análises do ensaio de tração do compósito produzido para gerar os dados referentes aos comprimentos de fibras que foram utilizados como reforço na matriz poliéster. Os resultados serão apresentados na forma de quadros e gráficos (carga versus alongamento) nas medidas das fibras de palha da costa de 5 mm, 10 mm e 15 mm.

3.1.1 Corpos de prova reforçados por fibras de palha da costa (*Raphia vinifera*) de 5 mm

Para os ensaios de tração, foram fabricados e ensaiados 8 corpos de prova, com adição de 9,93 % da fração mássica do copo de prova em fibra de palha da costa de 5 mm. O comportamento mecânico médio do reforço de palha da costa no comprimento de 5 milímetros foi de 340 N, e sua resistência a tração de 10,01 MPa, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Características mecânicas do reforço 5 mm

Reforço	Força (N) Média (desvio padrão)	Resistência (MPa) a Tração Média (desvio padrão)	Alongamento (mm) Médio (desvio padrão)
Palha da costa 5 mm	340 ($\pm 45,83$)	10,01 ($\pm 0,89$)	4,1 ($\pm 0,94$)

Ao analisar compósito de matriz poliéster com reforço de palha da costa de 5 mm, apresentou uma resistência a tração próximo das resistências de outras fibras vegetais. O que provavelmente ocorreu pela concentração de tensão que ocorre na ponta das fibras, nucleando trincas. Nos compósitos com fibras curtas, a maior concentração de tensão ao longo da interface fibra/matriz ocorre nas extremidades das fibras e quanto menor o comprimento das fibras, maior o número destas extremidades, o que acarreta depreciação das propriedades mecânicas de tração do compósito.

3.1.2 Corpos de prova reforçados por fibras de palha da costa (*Raphia vinifera*) de 10 mm

Para os ensaios de tração, foram fabricados e ensaiados 8 corpos de prova, com adição de 8,85% da fração mássica do copo de prova em fibra de palha da costa de 10 mm. Conforme descrito na bibliografia, o comprimento maior de fibra implicou na melhoria das propriedades do compósito tão quanto à carga máxima quanto à resistência em tração (Tabela 2).

Tabela 2. Características mecânicas do reforço 10 mm

Reforço	Força (N) Média (desvio padrão)	Resistência (MPa) a Tração Média (desvio padrão)	Alongamento Médio (mm)
Palha da costa 10 mm	463 ($\pm 87,2$)	12,95 ($\pm 1,43$)	5,01 ($\pm 1,5$)

As fibras não romperam, apenas descolaram da matriz. As fraturas foram conseqüentemente provocadas pela ausência de interação física e química entre o aglomerante e o reforço. Em alguns corpos de prova a fratura fora pouco evidente e aconteceu em locais de fragilidade da estrutura, como por exemplo, em pontos onde a concentração de fibra era menor que no resto do corpo de prova.

3.1.3 Corpos de prova reforçados por fibras de palha da costa (Raphia Vinifera) de 15 mm

Para os ensaios de tração, foram fabricados e ensaiados 8 corpos de prova, com adição de 9,98% da fração mássica do copo de prova em fibra de palha da costa de 15 mm. Conforme o esperado a Tabela 3 apresenta características superiores de comportamento mecânico em relação ao reforço de fibra de palha da costa de 5 mm e 10 mm.

Tabela 3. Características mecânicas do reforço 15 mm

Reforço	Força (N) Média (desvio padrão)	Resistência (MPa) a Tração Média (desvio padrão)	Alongamento Médio (mm)
Palha da costa 15 mm	518,6 (±53,89)	16,48 (±1,31)	6,68 (±1,57)

Devido o melhor alinhamento das fibras com resina poliéster o corpo de prova de 15 mm, foi o melhor dentre as amostras pesquisadas, o que indica que esta, provavelmente apresentou uma grande semelhança nas propriedades mecânicas de uma amostra para outra.

3.1.4 Análise da superfície fraturada dos compósitos

Foram feitas as análises por meio de microscopia estereoscópica das superfícies fraturadas dos corpos de prova.

Na região de fratura nos compósitos reforçados com fibras de palha da costa de 5 mm (Figura 10), pode-se observar a presença de fibras desalinhadas e em grande quantidade dentro do compósito, o que denota um valor elevado de fração mássica das fibras dentro da matriz. Pois, sabe-se que a presença de fibras dispostas na matriz transversalmente à direção do carregamento é um fator importante que contribui para a redução do desempenho do compósito durante o ensaio de tração, além de contribuir para a propagação de trincas por causa da grande quantidade de pontas de fibras dentro do compósito.

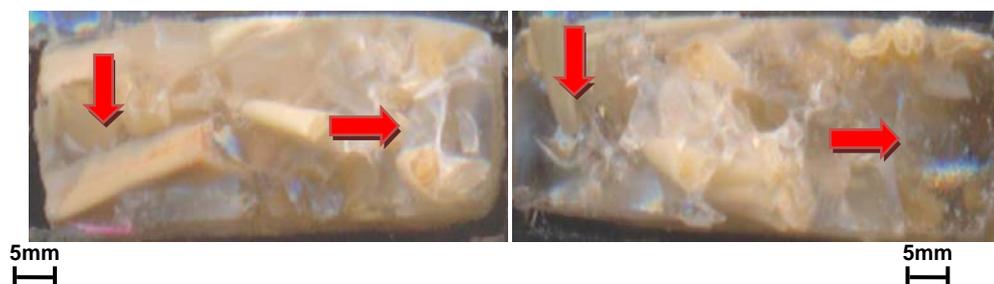


Figura 10. Análise estereoscópica da superfície do corpo de prova de 5 mm.

Identificou-se também a presença de vazios dentro do corpo de prova o que colaborou efetivamente para uma resposta menor ao limite de resistência suportado

por estes tipos de compósitos fabricados, ou seja, o mecanismo de falha dominante no compósito foi o *pull out*, evidenciando também a baixa adesão fibra/matriz. Já na Figura 11, observa-se que começa a surgir o rompimento das fibras, ainda que pouco evidentes e em proporções menores, mas com um aumento considerável na resistência a tração dos corpos de prova, acrescentando que os números de vazios encontraram-se muito menos evidentes nas análises da micrografia.

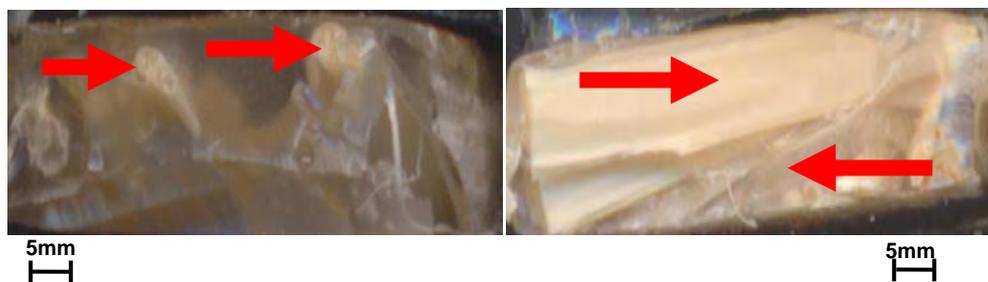


Figura 11. Análise estereoscópica da superfície do corpo de prova de 10 mm

As análises das superfícies de fratura na Figura 11 mostram que apesar de o mecanismo de falha dominante do compósito ainda ser o *pull out*, já podemos observar fibras rompidas, indicando uma maior efetividade do reforço. Verificou-se ainda que ocorreu uma maior aderência das fibras na matriz poliéster. Nos compósitos também se pode observar as fibras no sentido transversal do carregamento, o que deprecia sua resistência a tração.

Depois das análises referentes aos comprimentos de 5 e 10 mm, passou-se a observar o que ocorreu nos compósitos reforçados com fibras de 15 mm, que são mostrados na Figura 12.



Figura 12. Análise estereoscópica da superfície do corpo de prova de 15 mm

Os compósitos que têm como reforço as fibras de palha da costa no comprimento de 15 mm fazem com que esses apresentem um comportamento praticamente linear até o momento da ruptura da matriz e na direção do carregamento.

Através das análises da Figura 12 observa-se que os corpos de prova feitos com fibras de 15 mm apresentaram um valor médio de carga maior durante os ensaios de tração, indicando que as fibras utilizadas como reforço e a matriz receberam a transferência da força maior se comparadas com os outros comprimentos. É importante destacar também o maior rompimento de fibras, aumentando a resistência do material produzido.

3.1.5 Análise comparativa entre os resultados obtidos para os diversos comprimento de fibras

A partir dos resultados obtidos foram analisados os comportamentos de resistência a tração média dos diferentes comprimentos de fibras (Figura 13).

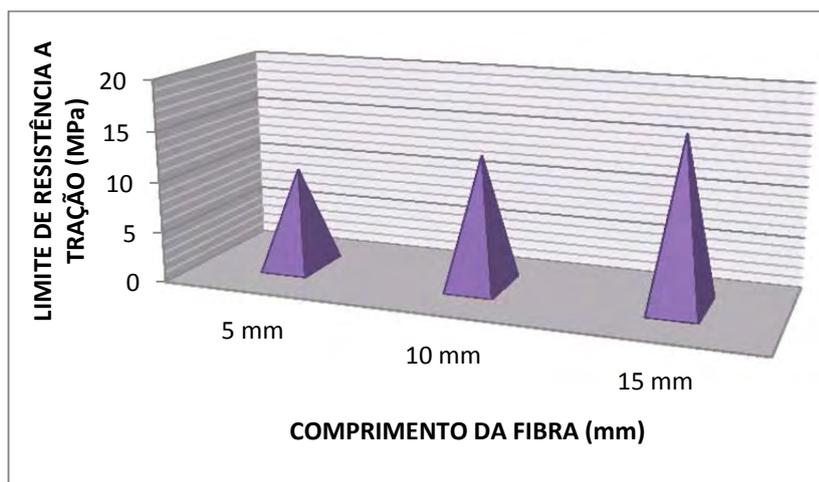


Figura 13. Gráfico do limite de resistência a tração versus comprimento da fibra.

Analisando a Figura 13 que mostra a resistência a tração versus comprimento da fibra, verificou-se entre os diferentes comprimentos (5 mm, 10 mm e 15 mm) de palha da costa, observou-se que o comprimento de 15 mm suporta maior resistência do que os demais. Conseqüentemente, compreende-se que quanto maior o tamanho da fibra maior a resistência do compósito de matriz poliéster reforçado com fibra de palha da costa. Isso acontece porque em compósitos reforçados por fibras, quando dispostas aleatoriamente, as pontas atuam como um concentrador de tensão, como em menores comprimentos de fibra há um maior número de pontas, o comportamento de compósitos com fibras curtas torna-se menor quando comparados com o desempenho de fibras longas.

Na Figura 14 tem-se o desempenho médio dos corpos de prova (5 mm, 10 mm e 15 mm) mediante carga média.

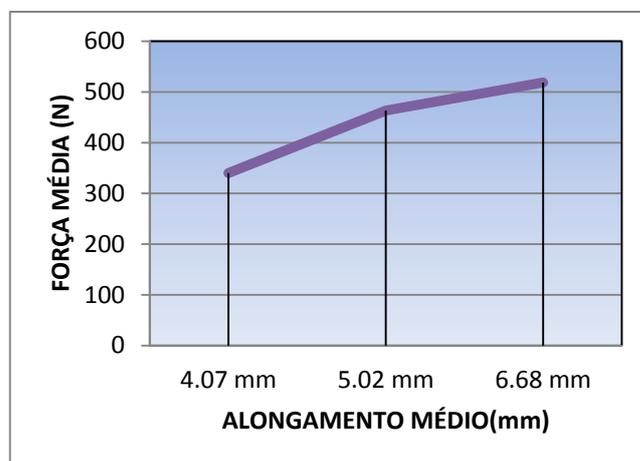


Figura 14. Gráfico da força média versus alongamento médio.

A Figura 14 mostra a comparação da carga máxima média, em Newton, em relação a alongamento médio. A força média obtida nos compósitos mostra diferentes para os comprimentos de fibra de palha da costa (5 mm, 10 mm e 15 mm), determina-se que o reforço de 15 mm apresenta um melhor resultado em relação aos outros reforços utilizados no ensaio de tração. Observar-se também que os dados mostram que os compósitos com fibras de palha da costa de 10 mm e 15 mm apresentaram desempenho elevado e bastante superior se comparados com fibras de 5 mm.

3.1.6 Estudos comparativos dos compósitos de palha da costa com outros reforçados por fibras vegetais

A partir dos resultados obtidos foram analisados os comportamentos de resistência a tração média dos diferentes comprimentos de fibras com outros reforçados de fibras vegetais (Tabela 4).

Tabela 4. Comparativos de fibras vegetais com diferentes autores

Autores	Tipos de fibras	Força média (N)	Resistência a ruptura (MPa)
Lourinho ⁽⁶⁾	Sisal + Açai	543,00	17,22
Autoria nossa	Palha da costa	518,00	16,48
Rodrigues ⁽⁷⁾	Sisa + Maçaranduba	650,00	17,57

A Figura 15 mostra o comparativo da resistência média a tração entre os compósitos produzidos e compósitos reforçados com fibras vegetais.

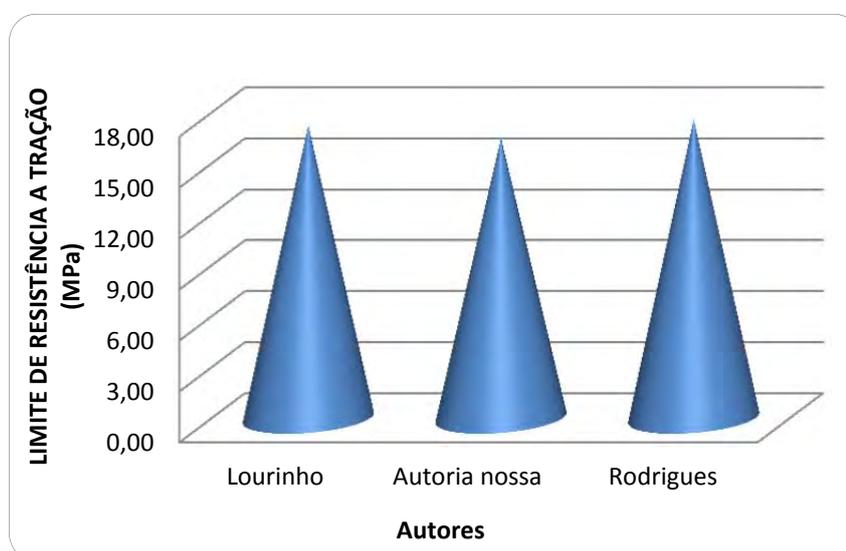


Figura 15. Gráfico do limite de resistência a tração versus pesquisadores.

Após análise da Figura 15 pode-se definir que a resistência entre diferentes tipos reforçados com fibras vegetais, As propriedades mecânicas foram praticamente iguais de acordo com o comprimento de fibra utilizada no reforço, onde se obteve resultados bem próximos do esperado.

4 CONCLUSÕES

O comportamento mecânico dos compósitos mostrou-se eficiente. Houve a influência do reforço utilizado verificou-se que com o aumento do comprimento das fibras de palha da costa o comportamento mecânico do compósito tendeu a ser maior dentro do compósito. Isso foi evidenciado principalmente nos compósitos reforçados por fibra de 15 mm.

Nos aspecto de fraturas dos compósitos que obtiveram melhores resultados de resistência à tração identificou-se um melhor alinhamento das fibras, uniformidade e melhor acabamento nos compósitos. Apresentando também rompimento de fibras.

Nos compósitos com menores resistências mecânica apresentaram em sua microestrutura a predominância de *pull out*, descolamento, desalinhamento das fibras dentro dos compósitos.

Na análise comparativa entre os resultados dos compósitos, verificou-se que os compósitos de 15 mm suportam maior resistência do que os de 5 mm e 10 mm. Com relação aos compósitos pesquisados, os compósitos de palha da costa apresentaram desempenhos similares.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do Instituto de Geociências, e ao Laboratório de Engenharia Mecânica (Labem) da Universidade Federal do Pará pelas realizações dos experimentos deste trabalho e ao Itgam – Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- 1 KURUVILLA, J.; ELITON, S. M.; CARVALHO, L. H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. p.136 – 141, out/dez, 1999.
- 2 CASARIL, A. et al. Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas. **Revista Matéria**, v.12, n.2, p.408-419. Rio de Janeiro, 2007.
- 3 SIMÕES, V. "**artesanato tradicional em fibra de jupati**", 2013. Disponível em: <<http://vimeo.com/49053562>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- 4 OLIVEIRA, J; POTIGUAR, R. C. V.; ZOGHBI, M. G. B.; GOMES, J. I.; RODRIGUES, S. T; ANDRADE, E. H. A. **Jupati (Raphia taedigera Mart.):** a sua utilização por comunidades ribeirinhas do estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental - Resumo em anais de congresso (ALICE), 2003.
- 5 ASTM D 638 - 1989, "**Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (metric)**", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1989.
- 6 LOURINHO, R. G. **Resistência à tração de compósitos poliméricos reforçados com híbrido de fibras de sisal e carga de açaí**. Belém: 2012, 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- 7 RODRIGUES, J. S. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria Madeireira**. Belém: 2008, 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Materiais e processos de Fabricação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.