



## Biocomposite from polyester reinforced with licuri leaves fiber (syagros coronata)

Manfrine Silva Santos<sup>2\*</sup>, Raimundo Valdan Pereira Lopes<sup>1\*</sup>, Jandecy Cabral Leite<sup>3\*</sup>, Marcus Roberto Binda Afonso<sup>1</sup>, Eleodoro Rodriguez Hermenegildo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas, Rua 1º de maio N.5, Colônia. Benjamin Constant – AM – Brasil. CEP: 69630 – 000. Fone: +55(97)34155677 / +55(92)993878930. \*valdanlopes@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa 01 Guamá. Belém – Pará / Brasil. CEP: 66075-110. Fone: +55(91)32017435/ +55(91)93147699. \*manfrine20@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM Praça Francisco Pereira da Silva, 149, Bola da Suframa – Distrito Industrial. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69073-270. Fone: +55 (92) 3639-8952 ou +55 (92) 3584-6145. \*jandecy.cabral@itegam.org.br

### ABSTRACT

The aim of this paper is the evaluation of the mechanical properties of polyester composites reinforced with Licuri fibers by tensile testing through a manual process using the lowest possible level of steps in the technological process in order to obtain a technically viable material. Quantitative and qualitative methods were used, comparing parameters obtained in composites developed by other literature. The fibers in naturas were characterized taking into account their mass fraction (5 mm - 3.18%, 10mm - 3.15% and 15mm - 2.86%) and were evaluated micro structurally by scanning electron microscopy of the surface of the fiber. The results showed that for the investigated materials, the tensile strength increased with fiber length (5 mm - 13.47 (MPa), 10 mm - 14.5 (MPa) and 15mm - 16.97 (MPa)), and despite the mass fractions relatively low when compared to composites of other literature, the results proved potentially viable for using this composites.

**Keywords:** *Licuri leaves fibers, Mechanical Property, Tensile Testing, Bio composite.*

## Biocompósito de poliéster reforçados por fibra da folha de licuri (syagros coronata)

### RESUMO

O objetivo do artigo em questão foi o de avaliação das propriedades mecânicas em ensaio de tração de compósitos de poliéster reforçados por fibras de Licuri, mediante um processo manual utilizando o menor nível tecnológico possível nas etapas do processo, de modo a obter um material tecnicamente viável. O método utilizado foi o quantitativo e qualitativo, comparando parâmetros obtidos em compósitos desenvolvidos por outras literaturas. As fibras *in naturas* foram caracterizada quanto a sua fração mássica (5mm - 3,18%, 10mm - 3,15% e 15mm - 2,86%) e avaliação microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície da fibra. Os resultados revelaram que, para os compósitos investigados, a resistência à tração aumentou com o comprimento das fibras (5mm – 13,47(MPa), 10mm – 14,5(MPa) e 15mm – 16,97(MPa)) e apesar das frações mássica relativamente baixas quando comparadas as de compósitos fabricados nas de outras literaturas, os resultados alcançados se mostraram potencialmente viáveis.

**Palavras-chave:** *Fibras da folha de Licuri, Propriedade Mecânica, Ensaio de tração, Biocompósito.*

### I. INTRODUÇÃO

As transformações notáveis recorrentes no desenvolvimento de materiais de engenharia nas últimas décadas são proporcionais às mudanças que ocorrem em nossa forma de trabalhar, construir,

consumir, inovar e pensar o futuro [1]. A consciência de que os recursos de fontes não renováveis são limitados, desencadeou uma maior valorização dos recursos de fontes renováveis, de tal forma, que vivenciamos o chamado século celulósico [2]. O

desenvolvimento de materiais compósitos reforçados por fibras vegetais ou biocompósito tem se tornado um desafio para a pesquisa científica, em que se busca conciliar desenvolvimento tecnológico com sustentabilidade. Uma vez, que as fibras naturais utilizadas nesses materiais desempenham um papel determinante na atividade econômica de um país [3]. Em países em desenvolvimento, tais fatores exercem um papel socioeconômico e ambiental fundamental, uma vez que promove a criação de postos de trabalho no campo e, por consequência, a geração de renda e a qualidade de vida das pessoas [4, 3]. O

Brasil, por ser um país de clima tropical é propício a muitas culturas vegetais, como é o caso da cana de açúcar, banana, coco, juta, sisal, milho, curauá, licuri e outras espécies ricas em fibras e outras substância, tornando este um dos maiores produtores de fibras naturais do mundo [5, 6].

A taxa média de crescimento mundial de biocompósito a base de plástico entre 2003 e 2007 foi de 38% ao ano, nesse mesmo período, a taxa de crescimento anual na Europa foi de 48%. Há, no entanto, uma previsão de superação da capacidade de produção que era de 0,36 milhões de toneladas ocorrida no ano de 2007, para um aumento de 2,33 milhões de toneladas até 2013 e, 3,45 milhões de toneladas até 2020 [2]. Estes são materiais que possuem características únicas, que os tornam adequados também em aplicação de produtos que possuem ciclos de vida curtos ou que não exijam alta resistência mecânica ou, em materiais descartáveis [7].

Assim também, manter as pessoas em locais de produção da matéria prima é um objetivo difícil, devido às dificuldades de investimento na produção, também devido a hostilidade e diversificação climática e principalmente à esperança de vida melhor nos grandes centros. Gerar uma fonte de renda para os produtores é de fundamental importância para se obter matéria suficiente para uma grande produção, aliando a isso a preservação da flora é outro benefício.

Diante dessa perspectiva, a pesquisa em questão objetivou o desenvolvimento de materiais compósitos reforçados por fibras da fibra da folha do Licuri, sendo esta uma fibra rotineiramente utilizada para os mais diversos fins por moradores do nordeste brasileiro, devido suas propriedades mecânicas e estéticas. Podendo tais fibras representar mais uma alternativa no uso em materiais compósitos poliméricos.

## II. EXPERIMENTAL

**Extração das fibras de Licuri:** as fibras foram extraídas de forma manual das folhas das copas de árvores adultas nativas, com o uso de facões e faca, na região de caatinga do Município de Tapiramutá - BA, situada na região da Chapada Diamantina. O Município de Tapiramutá se encontra à 365 Km da capital Salvador. A obtenção e a separação das fibras foram realizados manualmente. Em seguida as fibras foram cortadas com tesouras manuais, obtendo-se comprimentos de fibras com 5, 10 e 15 mm, sendo este um procedimento consideravelmente simples, uma vez que já haviam realizados o desfibramento e a mesma possui fibras muito fina o que as torna bastantes maleáveis para o seu manuseio.

As fibras foram inicialmente pesadas e secadas até massa constante, determinando-se o teor de umidade pela Equação 1 que é referente ao Cálculo para a fabricação dos corpos de prova.

$$T\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (1)$$

Onde ( $T\%$ ) corresponde ao teor percentual de umidade, ( $M_1$ ) a massa inicial antes da secagem ( $M_2$ ) a massa final após a secagem.

Para determinação da massa específica das fibras foi empregado o método do picnômetro com água como não solvente, sendo o material mergulhado em água notando o volume deslocado, conforme a norma DNER-ME 084/95. Foi definido o valor médio para a massa específica da fibra de Licuri em  $1,35 \text{ g/cm}^3$ . As imagens a, b e c da Figura 1 mostram

a fibra cortadas para determinação da massa específica.

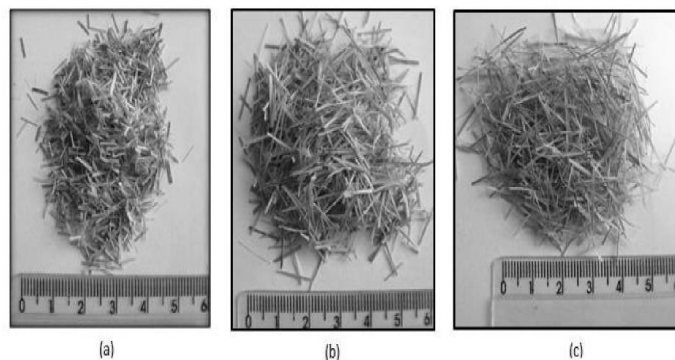


Figura 1: Fotos das fibras de Licuri antes da fabricação do compósito, cortadas com comprimento de 5 mm, 10 mm e 15 mm..

**Matriz polimérica:** A matriz utilizada foi a de poliéster *tereftálica* insaturada fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação de Denverpoly 754, obtida em comércio especializado na região metropolitana de Belém-PA. O agente de cura da resina foi o peróxido MEK (butanox M - 50), nas porções de 0,33% v/v.

**Confeções dos Corpos de Prova:** A confecção dos corpos de prova dos compósitos consistiu em um processo bastante simplificado. Os corpos de prova foram confeccionados em moldes de silicone, processo inteiramente manual, sem utilização de maquinário ou quaisquer processo de pressão e sem desmoldante, curados à temperatura ambiente. A determinação da massa para cada comprimento de fibra ocorreu respectivamente aos tamanhos das fibras de 5mm- 3,18%, 10mm- 3,15% e 15mm - 2,86%. A qual ocorreu em conformidade com a Equação 2.

$$fm = \frac{mf}{mc} * 100 \quad (2)$$

Onde ( $fm$ ) corresponde à fração mássica, ( $mf$ ) a massa da fibra ( $mc$ ) a massa do compósito.

As médias usadas nas misturas com resina na proporção de 61,5 g e catalizador na proporção de 0,15 g para fabricação dos corpos de prova.

**Ensaio de tração do material compósito:** Os ensaios de tração ocorreram em conformidade com a norma ASTM D 638M. A confecção dos compósitos para o ensaio de tração ocorreu mediante o uso de moldes de silicone com um número de 24 (vinte e quatro) corpos de prova com matriz reforçada por fibras curtas Licuri. Os quais foram ensaiados em uma máquina universal modelo KRATOS MKCA-KE, com sistema de aquisição de dados, com célula de carga de 5 KN, adotando velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm.

**Análises da superfície da fratura dos corpos de prova:** A análise da superfície da fratura dos compósitos ocorreu mediante Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, em que se analisou a morfológica da superfície da fratura e os principais mecanismos de falha dos compósitos produzidos como mostra Figura 2.

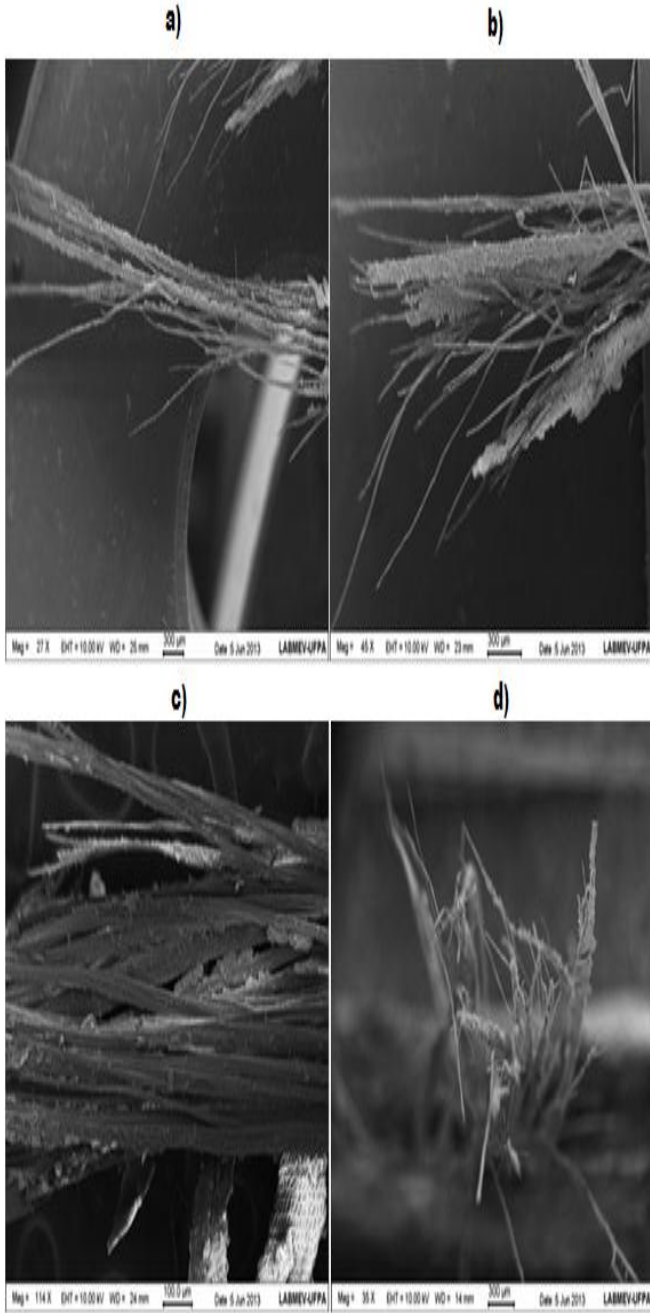


Figura 2: imagens de MEV da fibra de licuri *in natura*: **a)** e **b)** ângulo longitudinal e filetes de fibras **c)** microcavidade superficial e **d)** ângulo frontal.

### 2.1 Fratura do material compósito

A fractografia é a chave para se determinar a sequência dos eventos ocorridos ao longo do processo de fratura e identificar o estado de tensões atuantes no momento da falha [13]. A Caracterização das propriedades mecânicas dos materiais compósitos não é uma tarefa simples. A primeira questão a se considerar, é como aplicar métodos padrões desenvolvidos para materiais homogêneos, aos materiais compósitos. Este é especialmente o caso das propriedades locais, como os parâmetros de resistência ao impacto e tenacidade à fratura [14]. Figura 3 mostra os vários mecanismos de falhas que poderão ocorrer em compósitos reforçados por fibras. Ressalta-se, no entanto, que a fratura raramente ocorre de modo catastrófico, mas

tende a ser progressiva, com falhas subscritas dispersas através do material, o que se revela uma vantagem.

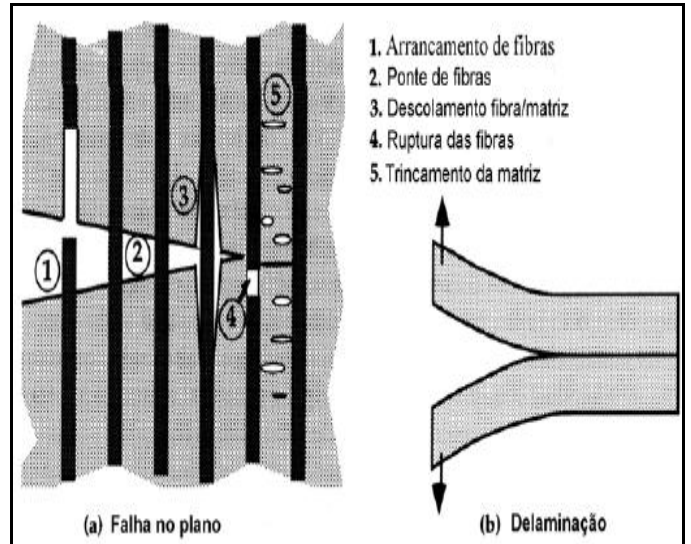


Figura 3. Mecanismos de falha em materiais compósitos.

Entre os mecanismos de falha local que podem ocorrer durante a fratura de um compósito fibrado estão a deformação e o trincamento da matriz, ruptura das fibras, descolamento das fibras, deslizamento interfacial seguido da ruptura das fibras (*pull out*), efeito pontes de fibras ou *fiber bridging*, onde as superfícies de uma trinca são interligadas por fibras. Vale ressaltar, que, durante o processo de fratura de um compósito, muitos destes mecanismos podem atuar simultaneamente.

### 3. Resultados e Discussão

**Características mecânicas e microestrutural dos materiais compósitos:** a fabricação, acabamento, dimensionamento e marcação dos compósitos com fibra de Licuri ocorreram em conformidade com especificações das normas ASTM D 638, conforme mostra a Figura 4.

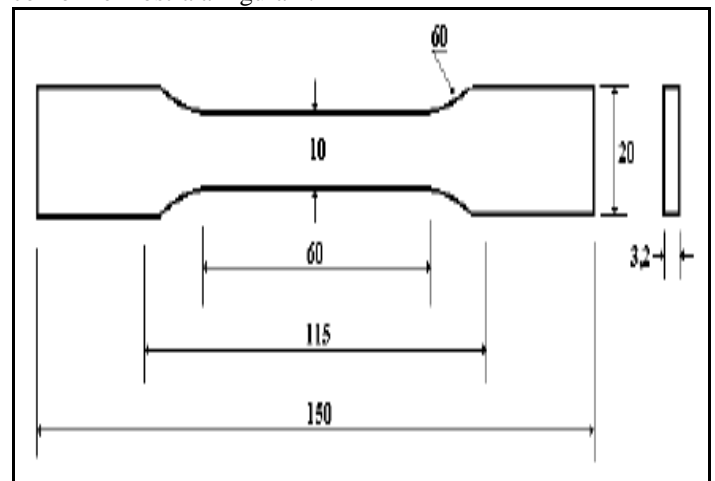


Figura 4: Dimensões em milímetro aplicado ao corpo de prova.

**Materiais compósitos reforçados por fibras particuladas de Licuri de 5, 10 e 15 mm:** A Figura 5 mostra os resultados do estresse mecânico no ensaio de tração dos compósitos com o surgimento de ciclos de ruptura provocados pela resitencia do material.

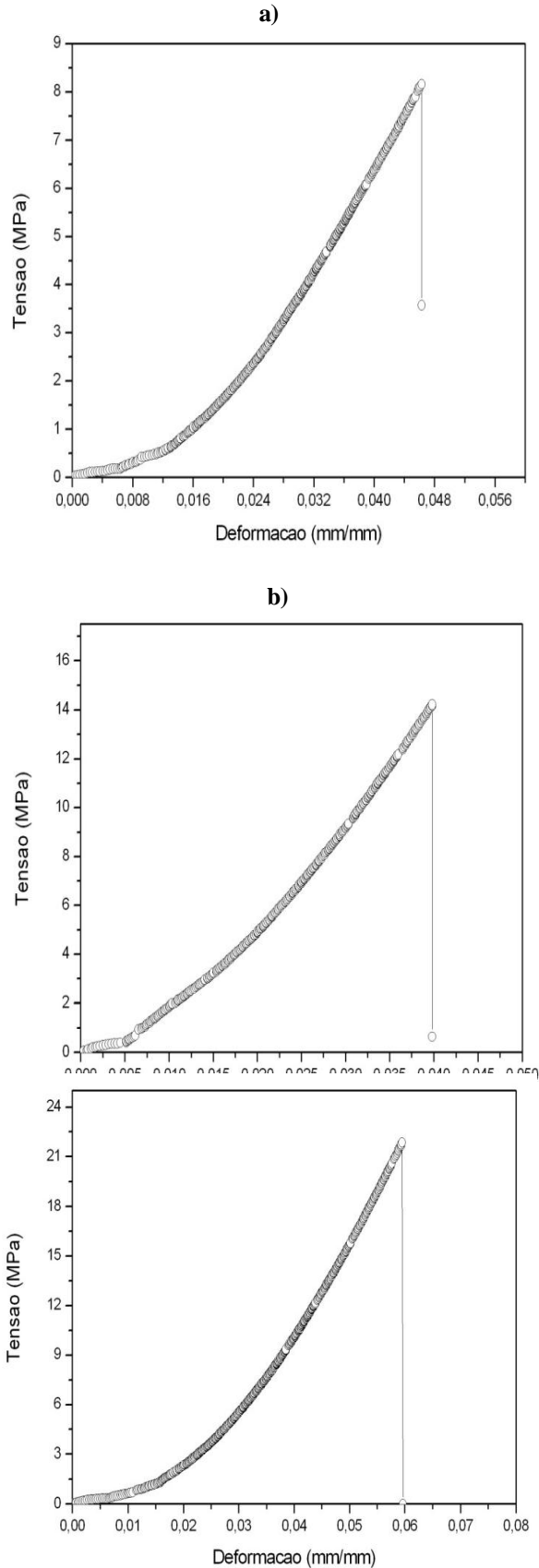
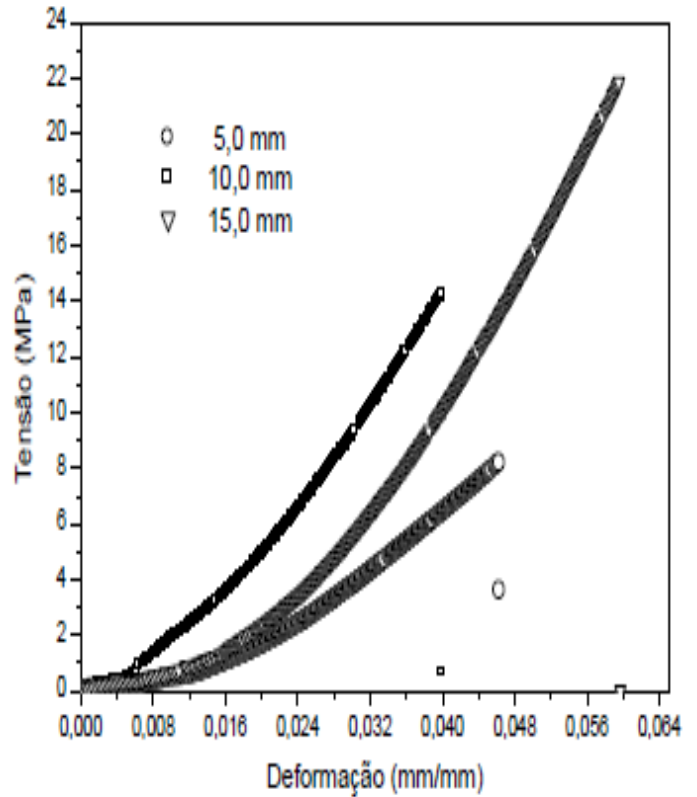


Figura 5: Curva tensão versus deformação de materiais compósito de poliéster reforçados por fibras de licuri de 5mm (a), 10mm (b) e 15mm (c).

A Figura 6 fornecer uma melhor compreensão do desempenho

mecânicos dos compósitos para o três materiais compósitos com fibras de 5mm, 10mm e 15mm.

Figura 6: Desempenho mecânico de compósitos reforçados por



fibras de Licuri de 5, 10 e 15 mm.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração mecânica dos compósitos reforçados por fibras de 5, 10 e 15mm, proporcionando uma melhor compreensão do esforço mecânico aplicado e suas proporcionalidades nos compósitos. Nos resultados obtidos se evidencia que os desempenhos mecânico dos compósitos foram respectivos aos comprimentos das fibras.

Compósitos reforçados por fibras	Força Máxima (kN)	Deslocamento na Força Máxima (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação na Tensão Máxima (mm/mm)
5mm	0,43	2,42	13,47	0,34	0,04
10mm	0,46	2,81	14,50	0,31	0,05
15mm	0,54	3,14	16,97	0,32	0,05

Tabela 1: Materiais compósitos reforçados por fibras curtas de Licuri de 5 mm, 10mm e 15mm.

Algumas literaturas obtiveram resultados maiores ou menores comparar, mas todas utilizando uma quantidade mássica maiores que as utilizadas nessa pesquisa. Compósitos com matriz poliéster biodegradável reforçados por fibras de curauá tratadas e *in natura* nos comprimentos de 5, 10 e 20 mm, apresentaram no ensaio de resistência a tração de 13,60 MPa, 17,70 MPa e 14,50 Mpa os compósitos com fibras *in natura*, enquanto os compósitos reforçados por fibras de curauá tratadas quimicamente: 14,80 MPa, 19,30 MPa e 22,2 Mpa [8]. Tais resultados ocorreram respectivamente aos comprimentos das fibras. O compósito de matriz de poliéster reforçado a partir da fibra de da folha do licuri (*Syagrus coronata*) com tratamento *in natura*, obteve os

seguintes resultados (5mm - 13,47(MPa), 10mm - 14,50(MPa) e 15mm - 16,97(MPa) [9]. Todas as fibras consultadas obtiveram valores de resistências a tração entre 12 a 20 (MPa) o que pode viabilizar para a indústria materiais com reais capacidades de produção. O diferencial da fibra de Licuri dessa pesquisa, dar-se-á, pelo seu peso, a quantidade mássica utilizada foi bem inferior as pesquisas consultadas. Estudo com compósitos de resina poliéster de alta densidade reforçados por polpa de fibras de bambu alcançaram no ensaio de tração 17,5 (MPa), cujos resultados mais satisfatórios foram obtidos mediante o uso de compatibilizantes [10]. Compósitos de Poliuretano reforçados por fibras de curauá nas proporções de 5, 10 e 20 %, alcançaram no ensaio resistência à tração 14,7 (MPa), com desempenho mais satisfatório nos compósitos com proporções de 5% fibra curauá [11]. Em compósitos híbridos de poliéster insaturado reforçado por fibras curtas de sisal e seda de 1, 2 e 3 cm, os resultados mecânicos no ensaio de tração com base nos comprimento das fibras para compósitos híbridos com fibras *in natura*, foi de 16,57 (MPa), 18,94 (MPa) e 17,54 (MPa). No caso dos compósitos híbridos com fibras tratadas quimicamente, o resultado no ensaio de tração foi de 20,86 (MPa), 23,60 (MPa) e 21,31(MPa), sendo os compósitos tratados quimicamente, os que apresentaram melhores valores mecânico [12]. No caso de compósitos puros de matriz epóxi com fibras de banana e sisal de 15 mm, o resultado do ensaio de tração para compósitos com fibras de banana foi de 16,12 (MPa) e para os materiais compósitos com fibra de sisal foi de 21,20 (MPa) [12].

**Aspecto da fratura dos materiais compósitos reforçados por fibras particuladas de Licuri de 5, 10 e 15 mm:** O aspecto da fratura do material compósito com fibras de 5,0 mm encontra-se ilustrado na Figura 7. Observa-se que após a fratura ocorreu a exposição de fibras devido ao fenômeno de *pull-out* ou ainda associado a fratura de fibras durante o carregamento no ensaio mecânico.



Figura 7: Aspecto da fratura do material compósito com fibras de licuri de 5,0 mm de comprimento.

Para o compósito com fibras de 10 mm de comprimento, o aspecto da fratura do material compósito encontra-se ilustrado na Figura 8. Observa-se que, após a fratura ocorreu a exposição de fibras devido ao fenômeno de *pull-out* ou ainda associado a fratura de fibras durante o carregamento no ensaio mecânico, semelhante ao ocorrido com o reforçado por fibras de 5,0 mm de comprimento.



Figura 8: Aspecto da fratura do material compósito de poliéster reforçado por fibras de licuri de 10 mm de comprimento.

Para o compósito com reforço de fibras de 15,0 mm, o aspecto da fratura do material compósito encontra-se ilustrado na Figura 9. Observa-se que após a fratura ocorreu a exposição de fibras devido ao fenômeno de *pull-out* ou ainda associado a fratura de fibras durante o carregamento no ensaio mecânico, semelhante ao ocorrido com o reforçado por fibras de 5 mm de 10 mm de comprimento.



Figura 9: Aspecto da fratura do material compósito de poliéster reforçado por fibras de licuri de 15mm de comprimento.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados no ensaio mecânico de tração dos compósitos reforçados por fibras de Licuri fabricação por moldagem manual revelaram um aumento na resistência proporcional ao reforço, com resultado satisfatório com os reforçados por fibras de 15 mm. Os mecanismos de falhas predominantes nos compósitos de maiores resistências foi o rompimento das fibras, e para os de menores resistências foram o *pull out* e descolamento de fibras na matriz. Quando comparado com resultados de outras literaturas pode-se inferir que as características e propriedades mecânicas do compósito produzido, possui viabilidade de uso em aplicações diversas da indústria. Ao mesmo, em que promove a discussão em torno da viabilidade no uso de fibras vegetais regionais do nordeste brasileiro.

#### 5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade Federal do Pará (UFPA), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia (ITEGAM), pelo apoio na realização dessa pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Mano, E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Ed. Blucher Ltda, São Paulo, 2010. 5 reimp.

- [2] Faruk, O.; A. K. Bledzki; H. Fink; M. Sain. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 – 2010**. 2012. 37, 1552–1596.
- [3] Monteiro, S. N.; V. Calado; F. M. Margem; R. J. S. Rodriguez. **Thermogravimetric Stability Behavior of Less Common Lignocellulosic Fibers**. 2012, v.1, 3, 189-199.
- [4] Tomczak, F.; T. H. D. Sydenstricker; K. G. Satyanarayana. **Studies on lignocelulosic fibers of Brazil**. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers. 2007, 38, 1710-1721.
- [5] Guimarães, J. L.. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Paraná, 2010.
- [6] Alves, C.; P. M. C. Ferrão; A. J. Silva; L. G. Reis; M. Freitas; L. B. Rodrigues; D. E. Alves. 2010, 18, 313–327.
- [7] Ramírez, M. G. L.. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- [8] Harnnecker, F.; D. S. Rosa; D. M. Lenz. **Biodegradable Polyester-Based Blend Reinforced with Curauá Fiber: Thermal, Mechanical and Biodegradation Behaviour**. 2012, 20, 237-244.
- [9] Mothé, C. G.; C. R. ARAÚJO. *Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá*. 2004, 14, 4, 274-278.
- [10] Liu, H. et al, 2008, **Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites**: Mechanical properties and morphologies. *Composites: Part A*, n. 39, p. 1891-1900.
- [11] Mothé, C. G. and ARAÚJO, C. R., 2004, **Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 14, n. 4, p.274-278.
- [12] Khanam, P. N. et al, 2007, Tensile, **Flexural and Compressive Properties of Sisal/Silk Hybrid Composites**. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 26, n. 10.
- [13] Franco, L. A. L. **Análise fractográfica de compósitos poliméricos estruturais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Física e Química de Materiais Aeroespaciais), Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA, São José dos Campos/SP, 2003.
- [14] Silva, R. V. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais), Setor de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2003.