

# COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ENTRE COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI E POLIÉSTER REFORÇADOS POR FIBRAS NATURAIS

*Anna Carolina Cerqueira Neves<sup>1</sup>*

*Lázaro Araújo Rohen<sup>1</sup>*

*Dhyemila Paula Mantovani<sup>2</sup>*

*Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>3</sup>*

*Frederico Muylaert Margem<sup>4</sup>*

*Sergio Neves Monteiro<sup>5</sup>*

## **Resumo**

As fibras sintéticas vem cada vez mais expressivamente sendo substituídas por fibras naturais lignocelulósicas. Essa substituição relaciona-se com a preocupação em se obter materiais que sejam mais ecologicamente amigáveis e por mostrarem vantagens econômicas. Além disso, fibras naturais tendem a apresentar características interfaciais com matrizes poliméricas que favorecem uma absorção de energia pela estrutura formada. Uma vez que os compósitos reforçados por fibras naturais recebem matrizes poliméricas em sua maioria epóxi e poliéster, estabeleceu-se uma comparação do desempenho referente a resistência a flexão desses compósitos com as duas matrizes em questão, com a incorporação de 0, 10, 20 e 30% de fibras de cânhamo. Placas com resinas poliéster e epóxi com essas porcentagens de fibras incorporadas foram confeccionadas em matriz metálica e então cortadas para obtenção de corpos de prova com dimensões segundo a ASTM 790-02. Os corpos de prova foram ensaiados em uma Instron 552 e então, com os resultados obtidos, foi possível observar o melhor desempenho da matriz epoxídica, enquanto que para o compósito de matriz polimérica, o reforço com fibras de cânhamo não se mostrou eficiente, resultado esse que pode ter influência direta nas características da interface e na natureza das fases que formam o compósito – matriz polimérica hidrofóbica e fibras de cânhamo hidrofílicas.

**Palavras-chave:** Comparativo, Flexão, Compósitos, Fibras de cânhamo, epóxi, poliéster.

## **CHARPY IMPACT TEST IN EPOXY MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH HEMP FIBER**

### **Abstract**

The synthetic fibers are increasingly expressively being replaced by natural lignocellulosic fibers. This replacement is related to the concern to obtain materials that are more environmentally friendly and because they show economic advantages. In addition, natural fibers tend to have interfacial characteristics with polymer matrices that favor an absorption of energy by the formed structure. Since the composites reinforced by natural fibers received polymer matrices mostly epoxy and polyester, a

comparison of the performance regarding the flexural strength of these composites with the two matrices in question was established, with the incorporation of 0, 10, 20 and 30% of hemp fibers. Plates with polyester and epoxy resins with these percentages of incorporated fibers were made in metal matrix and then cut to obtain test pieces with dimensions according to ASTM 790-02. The test specimens were tested on an Instron 552 and, with the results obtained, it was possible to observe the best performance of the epoxy matrix, whereas for the polymer matrix composite, the reinforcement with hemp fibers was not efficient. which may have a direct influence on the interface characteristics and the nature of the phases forming the composite - hydrophobic polymer matrix and hydrophilic hemp fibers

**Keywords:** Comparative, Flexural test, Composites, Hemp fibers, Epoxy, Polyester

- <sup>1</sup> *Graduando(a) em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, bolsista de iniciação científica, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*
- <sup>2</sup> *Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, bolsista de iniciação científica, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*
- <sup>3</sup> *Pós Doutor e professor em Engenharia de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro – Brasil.*
- <sup>4</sup> *Pós doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais, Pós-Doutorando, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*
- <sup>5</sup> *Professor PhD, IME, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção de bens de consumo e consequentemente da produção de rejeitos, gases ofensivos e materiais não recicláveis, bem como a elevação da taxa de crescimento global que prejudica a vida do planeta como todo é algo facilmente observável. Porém, também aumenta a preocupação com a preservação ambiental e como consequência a busca por materiais ambientalmente corretos, cujos processos de fabricação e até mesmo rejeitos sejam cada vez menos nocivos. (1)

O crescente uso de fibras naturais como reforço de matrizes poliméricas é resultado dessa maior consciência ambiental, além do uso das fibras naturais aliar questões ambientais – ser renovável, biodegradável, de baixa toxicidade – a questões financeiras visto que se tratam de materiais de baixo custo e encontrados em abundância. Além disso, destaca-se atrativa resistência e rigidez específica, caracterizando-os em potenciais substitutos para fibras sintéticas. (2)

No que diz respeito a aplicação desse tipo de compósitos, destacam-se aplicações de engenharia como componentes do interior de automóveis, capacetes de ciclismo, painéis de carros e paletas de moinho, das quais dentre as aplicações, deseja-se destacar a característica maior flexibilidade por parte da fibra natural em relação às sintéticas, tornando-as vantajosas por exemplo em uma situação em que há uma batida ou um esforço fletivo. Uma vez que as fibras estejam aderidas à matriz, as partes dos automóveis como painel frontal, encosto de cabeça não irão se partir em

pedaços pontiagudos e/ou cortantes, por outro lado, essas partes deverão absorver a energia de impacto, evitando causar injúrias aos passageiros. (3)

Assim, o presente trabalho, propôs estudar o comportamento mecânico dos compósitos de matriz polimérica em epóxi e poliéster reforçados por 10%, 20% e 30% em volume de fibras de cânhamo no que tange à suas propriedades de flexão, estabelecendo ainda uma comparação entre as matrizes. Além do estudo da resistência à flexão, foi avaliada a macroestrutura da região de ruptura.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como material de reforço, utilizou-se a fibra de cânhamo, sem tratamentos superficiais, seca a temperatura ambiente, ilustrada na Figura 1, obtida através da empresa Design Fibras Naturais.



**Figura 1:** Fibras de cânhamo. (Fonte própria).

Quanto as matrizes, foram utilizadas resina poliéster insaturada ortoftálica, de alta viscosidade e insolúvel em água e endurecida com 5% em peso de catalizador a base de metil-etil cetona e a resina epóxi diglicil éter de bisfenol-A (DGEBA) endurecida através da adição de 13% em peso de catalizador trietileno tetramina (TETA). Ambas fornecidas pela empresa Resin Epoxi.

Para a confecção dos corpos de prova de impacto, uma matriz metálica tendo 130x150x12,7mm como dimensões internas, matriz esta que é dividida em três partes, conforme mostrado na Figura 20 a seguir, sendo elas (a) a base, (b) as paredes laterais e (c) a tampa superior.



**Figura 2:** Matriz metálica para confecção de corpos placas de compósitos dividida em três partes, sendo (a) base; (b) paredes laterais e (c) tampa superior

Para a fabricação dos corpos de prova, inicialmente, as fibras foram cortadas em dimensões que pudessem ser melhor acomodadas nas matrizes e então foram pesadas em balança semi analítica e separadas em quantidades que representavam 10, 20 e 30% em volume da matriz para que fossem incorporadas como reforço.

Então, foram preparadas as resinas ao misturá-las com o catalisador apropriado e em quantidade indicada, conforme citado anteriormente. Salienta-se que todo esse procedimento de mistura foi realizado dentro da capela, bem como foram usados todos os equipamentos de segurança recomendados durante a manipulação de tais produtos.

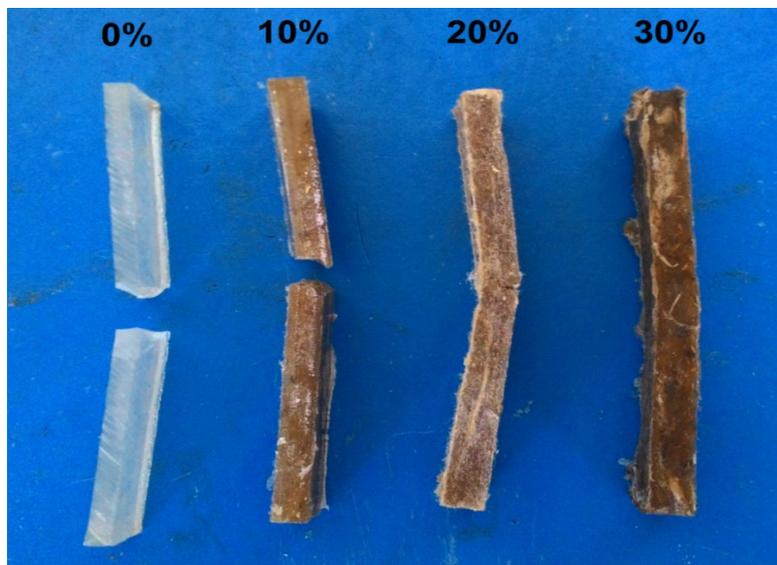
Preparadas fibras e resinas, a resina e fibras de cânhamo formando foram adicionadas na matriz de acordo com a quantidade de fibra referente ao volume de reforço requerido fosse incorporada na matriz. Depois de colocadas resina e fibras na matriz metálica, esta foi fechada e colocada na prensa aplicando uma pressão de 1 toneladas por 24 horas. Por fim, placas foram retiradas da matriz metálica com o auxílio de uma espátula metálica e então, seguiram para o corte, onde obtiveram as medidas indicadas pela ASTM 790.

Por fim, os corpos de prova foram ensaiados numa máquina universal de ensaios, Instron 552 utilizando a configuração de três pontos, vão central de 120mm e taxa de deformação de 0,5mm/min e com os dados obtidos pela máquina aliados às equações fornecidas pela norma adotada, foi possível calcular a resistência à flexão ( $\sigma_f$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização do ensaio, algumas considerações puderam ser feitas. No que tange aos aspectos observados na macrografia, é possível notar na Figura 3 abaixo,

que com a adição de porcentagens de fibras de cânhamo, a fratura que se dava de forma completa e frágil passa a ser “dificultada”, onde corpos de prova com maior adição de fibras chegam a não se separar completamente, visto que há um rompimento inicial de fibras, mas a presença do reforço aderido à matriz impede que o processo continue.



**Figura 3:** Macrografia dos Corpos de Prova de compósitos de matriz epóxi reforçados por diferentes porcentagens de fibras de cânhamo após serem submetidos ao ensaio de tração em três pontos.

A Tabela 1 inserida a seguir, por sua vez, compila os valores obtidos para os ensaios de flexão em três pontos dos compósitos reforçados por fibras de cânhamo em matrizes poliéster e epóxi referentes à Resistência à Flexão. Dados esses que permitiram que os gráficos da Figura 33 pudessem ser plotados.

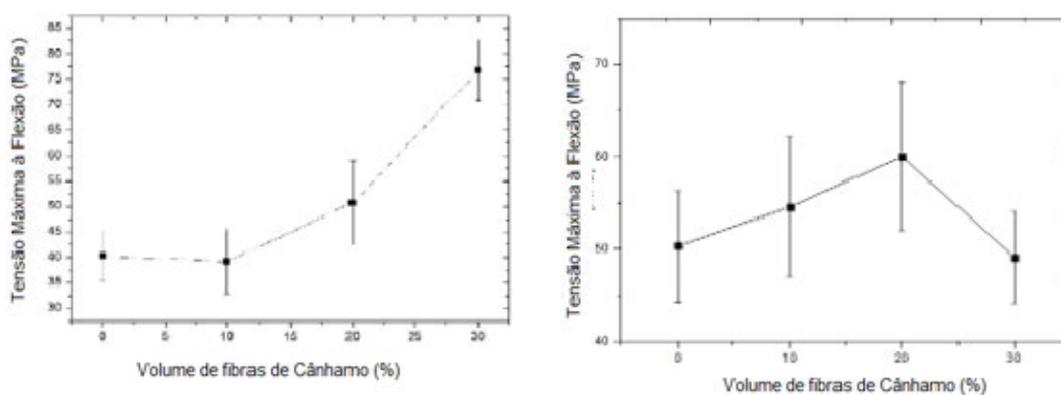
**Tabela 1:** Resistência à Flexão para compósitos reforçados por fibras de cânhamo (a) em matrizes poliéster e (b) epóxi submetidos a ensaios de flexão de três pontos.

Volume de fibras de Cânhamo (%)	Tensão máxima à flexão Poliéster (MPa)	Tensão máxima à flexão Epóxi (MPa)
0	50,31 ± 6,02	40,30 ± 5,00
10	54,58 ± 7,53	39,24 ± 6,32
20	60,06 ± 8,08	50,75 ± 8,33
30	49,09 ± 4,96	76,69 ± 5,96

À luz dos valores informados na tabela, foi possível observar que os compósitos de matriz poliéster obtiveram um desempenho mecânico de resistência a flexão mais pronunciado que para os compósitos de matriz epoxídica com incorporações até 20% de fibra de cânhamo, enquanto que o comportamento das fibras como fase

reforço efetivamente se deu de forma mais expressiva para os compósitos de matriz epoxídica. Porém, isso pode ser explicado pelo fato do desempenho mecânico da resina poliéster ser superior ao da resina epóxi já inicialmente, sem adição de reforço.

No que tange ao desempenho do compósito de matriz epóxi, foi possível observar que em pequenas adições de fibras de cânhamo (10%), essas não apresentam melhorias nas propriedades da matriz, sendo possível dizer que houve uma pequena degradação dessa propriedade. Esse resultado imprime que a fibra de cânhamo em pequenas quantidades na matriz epóxi deixa de ser considerada fase reforço e passa a trabalhar como impureza, prejudicando o desempenho mecânico do material. Para volumes maiores de incorporação de fibras de cânhamo (20% e 30%), por sua vez, houve um aumento pronunciado nas propriedades mecânicas do compósito e então observou-se a fibra de cânhamo exercendo efetivamente seu papel como reforço, sendo possível ainda observar um pronunciamento de comportamento linear, confirmado pelo gráfico da figura 4(a) a seguir.



**Figura 1:** Representação gráfica da relação entre Resistência à Flexão e a quantidade de fibras de cânhamo incorporadas em compósitos de matriz (a) epóxi e (b) poliéster. (Fonte própria)

Para os compósitos de matriz poliéster, segundo o gráfico da Figura 4 (b) acima apresentado, há um comportamento de crescimento de propriedades seguido de um breve decréscimo, mas que se consideradas e analisadas as barras de erro, pode-se considerar um comportamento constante ou até mesmo de decréscimo de propriedades de resistência à flexão. Observou-se ainda, através dos valores fornecidos pela Tabela 1, que as propriedades “iniciais” do compósito, ou seja, da matriz sem adição de fibras foi superior a valores próximos a até 20% de incorporação de fibras de cânhamo para os compósitos de matriz epoxídicas. Porém, quando se avalia o comportamento da fibra como reforço em diferentes valores incorporados na fibra de poliéster, observa-se que para compósitos com 10% e 20% adicionados, há uma pequena melhora nas propriedades de resistência à flexão, mas, se considerado o erro significativo associado à esses valores, foi possível dizer que não houve melhora significativa das propriedades de flexão, podendo até mesmo

considerar uma degradação das propriedades. Degradação essa ainda mais pronunciada para volumes maiores de adição de fibras de cânhamo (30%). Dessa forma, a fibra de cânhamo para compósitos de matriz poliéster, não trabalhou como fase reforço e sim como pontos de concentração de tensão.

Esses baixos valores obtidos para compósitos reforçados por fibras de cânhamo em matriz poliéster pode ser considerado resultado de problemas no processo de confecção dos corpos de prova como má homogeneização durante a adição de catalisador à resina, alta concentração de bolhas de ar, além das características do lote de resina fornecido, cura incompleta do compósito e até mesmo problemas referentes à fraca interface entre matriz hidrofóbica e fibra hidrofílica, dificultando transferências efetivas de cargas entre as mesmas.

É ainda importante salientar que o erro associado aos valores obtidos nos ensaios são resultantes dos erros associados aos equipamentos utilizados para aferir pesos e afins, manufatura e principalmente, devido à grande dispersão encontrada nos valores dimensionais das fibras de cânhamo, característica essa muito comum e pronunciada em fibras naturais lignocelulósicas.

Para os valores de módulo de elasticidade, também obtidos a partir do ensaio de flexão e expostos na Tabela 9 a seguir, é possível observar que para os compósitos de matriz epoxídica, o módulo de elasticidade aumenta conforme a inserção de fibras de cânhamo como fase reforço, o que tem relação com a maior energia necessária para que o material rompa ao ser submetido à esforços de flexão, entretanto, esse aumento no valor também se relaciona a menores capacidades do material em se deformar antes de romper. Deste modo, foram obtidos para os compósitos com incorporação de fibras de cânhamo como fase reforço para matriz poliéster, uma redução do módulo de elasticidade a flexão com o aumento das porcentagens em peso de fibras de cânhamo incorporada, valor esse que se relaciona diretamente ao decréscimo na resistência à flexão desses compósitos com a adição de maiores volumes de fibras de cânhamo. Esses valores para resinas poliéster, por sua vez, indica que o compósito romperá com menores valores de energia, mas terá maior capacidade de se deformar.

#### **4 CONCLUSÃO**

Uma vez que há uma relação de proporcionalidade direta entre as propriedades de resistência à flexão e o módulo de elasticidade, de modo que quanto maior o módulo de elasticidade, maior a tensão necessária para que o corpo rompa por flexão, os compósitos de matriz epóxi tiveram valores que aumentavam linearmente com o acréscimo das porcentagens em peso de fibras de cânhamo e, os compósitos de matriz poliéster, tiveram seus módulos de elasticidade com valores onde não se

pôde estabelecer uma relação de linearidade, tendo em vista da inconsistência dos valores obtidos de resistência à flexão citados anteriormente.

A fibra de cânhamo, a princípio, não teve resultados significativos como reforço para matriz poliéster para flexão.

## 5 REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Monteiro, S. N.; Perissé, F. D. L.; Costa, L. L.; Bevitori, A. B.; Silva, I. A. S. Barbosa A.P, (2011) Natural Lignocellulosic Fibers as engineering materials – 53 an overview. The minerals, metals & materials Society and ASM International 2011, 2966-Vol 42A, October 2011.
- <sup>2</sup> Sébe, G., Cetin, N. S., Hill, C. A. S., Hughes, M. (2000) RTM Hemp fibre-reinforced polyester composites. Applied Composite Materials, 7: 341-349.
- <sup>3</sup> Sanchez, E. M. S., Cavani, C. S., Leal, C. V., Sanchez, C. G. (2010) Compósito de resina poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influenciado tratamento das fibras nas propriedades. Polímeros, 20(3): 194-200.
- <sup>4</sup> Razera, I. A. T., Frollini, E. (2004) Composites based on jute fibers and phenolic matrices: Properties of fibers and composites. Journal of Applied Polymer Science, 91: 1077- 1085.
- <sup>5</sup> Rohen, L. A., Margem, F. M., Neves, A. C. C., Monteiro, S. N., Gomes, M. A., Castro, R. G. Vieira, C. M. F., De Paula, P. (2015) Izod impact test in epóxi matrix composites reinforced with hemp fiber. Characterization of Minerals, Metals, and Materials.
- <sup>6</sup> Joseph, A.; Sreekala, M. S.; Oomens, Z.; Koshy, P.; Tothomas, S. A. (2002) “ A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibre and glass fibres”. Composites Science and Technology, v. 62, p. 1857-68, 2002.
- <sup>7</sup> Callister, W.D. (2008). Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução, 7ed., LTC, Rio de Janeiro-RJ.
- <sup>8</sup> Anna Carolina, C. Neves; Lázaro, A. Rohen; Frederico, M. Margem; Carlos Maurício, F. Vieira; Sergio, N. Monteiro  
Flexural Test in Epoxy Matrix Composites Reinforced With Hemp Fiber In: Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2016.1 ed. : John Wiley & Sons, Inc., 2016, p. 417-423.
- <sup>9</sup> ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D790 - 03 - Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced or Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Annual Book of ASTM, 2003.
- <sup>10</sup> Aquino, R. C. M. P.; Almeida, J. R. M; Monteiro, S.N, “Análise do Compósito de Piaçava/Resina poliéster, como substituto da Madeira”. (Paper presented at 60o

Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, Belo Horizonte, MG, Brazil 24-27 de July de 2006)

- <sup>11</sup> Hull, D.; Clyne, T. W. (1996) “An Introduction to Composite Materials”, 2a ed., Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- <sup>12</sup> Monteiro, S.N, Costa, L.L., Santafé, H.P. G, “Tenacidade ao impacto Charpy de compósito epoxídico reforçado com fibras de coco” (Paper presented at Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECIMAT , Porto de Galinha, Pernambuco, Brazil, October, 2008) 12.
- <sup>13</sup> Bledzki, A.K.; Gassan, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. Prog.Polym. Sci, v. 24, (1999) p. 221-274.
- <sup>14</sup> A.K. Mohanty, M. Misra and G. Hinrichsen, “Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: an overview”, Macromolecular Mat. And Engineering, 276/277 (2000), 1-24.
- <sup>15</sup> P. Wambua, I. Ivens and I.Verpoest, “Natural fibers: can they replace glass and fibre reinforced plastics?” Composites Science and Technology, 63 (2003) 1259-1264.
- <sup>16</sup> A. Netravali, S. Chabba, “Composites get greener”, Material Today 6 (2003) 22- 29.
- <sup>17</sup> S. Kalia, B. S. Kaith, I. Kaur “Pretreatment of natural fibers and then application as reinforcing material in polymer composites – A review” Polym. Eng. Sci. 49(7) (2009) 1253-1272.
- <sup>18</sup> S.N. Monteiro, J.F. de Deus and J.R.M. d’Almeida, “Interfacial Strength of Sisal Fiber Reinforced Polyester Composites”, (Paper presented at SAM-CONAMET, Mar del Plata, Argentina, 2005) 6.
- <sup>19</sup> S.N. Monteiro, R.C.M.P. Aquino, F.P.D. Lopes, E.A. Carvalho and J.R.M. d’Almeida, “Mechanical behavior and structural characteristics of polymeric composites reinforced with continuous and aligned curaua fibers”. Rev. Mater, 11(3) (2006) 197-203.
- <sup>20</sup> S.N. Monteiro, J.F. de Deus and J.R.M. d’Almeida, “Mechanical and structural characterization of curaua fibers”, (Paper presented at Characterization of Minerals, Metals & Materials - TMS Conference, San Antonio, USA, March, 2006) 8.
- <sup>21</sup> K.G. Satyanarayana, J.L. Guimarães, F. Wypych, “Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications”. Composites: Part A, 38, (2007) 1694-1709.
- <sup>22</sup> S.N. Monteiro, A.S. Ferreira and F.P.D. Lopes, “Rupture mechanisms in composites reinforced with sisal fibers”, (Paper presented at Characterization of Minerals, Metals & Materials - TMS Conference, New Orleans, USA, March, 2008) 8.
- <sup>23</sup> Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, REWAS2008, Cancun, Mexico, October 2008) 1653-1658.
- <sup>24</sup> NABI SAHEB, D.; JOG, J.P, “Natural fiber polymer composites: A review. Advances in Polymer Technology”, v. 18, p. 351-363, 1999.
- <sup>25</sup> S.N. Monteiro, F.P.D. Lopes, A.S. Ferreira and D.C.O. Nascimento, “Natural fiber polymer matrix composites: cheaper, tougher and environmentally friendly”. JOM, 61(1) (2009) 17-22.

- <sup>26</sup> T.G.R. Portela, L.L. da Costa, N.S.S. Santos, F.P.D. Lopes, S.N. Monteiro  
“Tensile behavior of lignocellulosic fiber reinforced polymer composites: Part II buriti  
petiole/polyester” Rev. Mater., 15(2) (2010) 216-222.