

PROPRIEDADES DE FLEXÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE BAMBU E SISAL¹

John Gleidson Pereira Teles²
Deibson Silva da Costa³
Roberto Tetsuo Fujiyama⁴

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo determinar através de experimentos características mecânicas de flexão do compósito de matriz polimérica reforçado por fibras de bambu e sisal. As fibras foram cortadas nos comprimentos de 5 mm, 10 mm e 15 mm. As fibras de sisal foram adquiridas no comércio e as de bambu extraídas a partir de plantas da cidade de Belém-PA. Foram fabricados 10 corpos de prova para cada série de compósitos, utilizando matriz de poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada. O tipo de ensaio foi o de flexão em três pontos de acordo com a norma ASTM D790-03, onde se investigaram as superfícies de fraturadas e a influência dos comprimentos de fibras (5 mm, 10 mm e 15 mm) e porcentagem de cada constituintes dos compósitos fabricados nos resultados. O melhor desempenho no referente à carga máxima e resistência a flexão fora o sisal de 10 mm, com 39,6 N de carga e 0,716 MPa de resistência. A segunda melhor amostra fora a de bambu de 5 mm, apresentando carga máxima igual a 26,8 N e resistência a flexão de 0,399 MPa.

Palavras-chave: Propriedade mecânica; Compósito poliéster; Fibras naturais.

BENDING PROPERTIES OF BAMBOO AND SISAL FIBRE REINFORCED

Abstract

This study aims to determine experimentally the mechanical properties of bending in the polymer matrix composite reinforced by fibers of bamboo and sisal. The fibers were cut in lengths of 5 mm, 10 mm and 15 mm. The sisal fibers were acquired in trade and the bamboo extracted from plants of the city of Belem – Brazil. We made 10 specimens for each series of composites using tereftalic unsaturated polyester matrix and pre-accelerated. The type of test that was conducted for the mechanical characterization of the material is the three-point bending according to ASTM *standard D790-03*, where we investigated the fractured surfaces and the influence of the lengths of fibers (5 mm, 10 mm and 15 mm). The best performance with regard to load and resistance was the sisal 10 mm, with 39.6 N load resistance and 0.716 MPa. The second sample was the best bamboo 5 mm, and maximum load equal to 26.8 N and resistance to bending of 0.399 MPa.

Key words: Mechanical properties; Composite polyester; Natural fibers.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduado, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM, ITEC / UFPA. Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110. Belém - Pará - Brasil. john.p.teles@gmail.com

³ Mestre, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEM, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, ITEC / UFPA

⁴ Dr, Professor Adjunto, PPGEM – ITEC / UFPA.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Atualmente o desenvolvimento de materiais renováveis com baixos custos financeiro e energético é uma exigência da engenharia. As fontes de matérias-primas não renováveis estão cada vez menores e paralelamente a isso, a demanda por tais recursos não para de crescer, conseqüentemente aumentando ainda mais a demanda energética para a sua obtenção e dificultando o tratamento dos resíduos da produção.

Assim sendo, é essencial o desenvolvimento de materiais ecológicos que satisfaçam os seguintes requisitos:

- baixo impacto ambiental para obtenção;
- baixo consumo elétrico no processo de produção; e
- baixa toxicidade.

As necessidades acima citadas, bem como a procura por materiais estruturais pouco densos, fortes, firmes, resistentes a impactos, abrasão e corrosão. É uma formidável combinação de características que tem direcionado à ciência para o desenvolvimento de compósitos.⁽¹⁾

A produção do compósito é feita através da adição de fase dispersa, elementos de reforço, a um determinado aglomerante, chamado de fase matriz. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, suas relativas porções e a geometria da fase dispersa, o que compreende o formato de suas partículas, sua dimensão, distribuição e orientação.⁽²⁾

1.2 Objetivo Geral

Desenvolver um compósito polimérico reforçado com fibras de bambu e sisal nos comprimentos de 5 mm, 10 mm e 15 mm, dispostas aleatoriamente, sem compactação e pressão.

1.3 Objetivos Específicos

- Analisar o comportamento em flexão de material compósito de matriz polimérica, reforçado com fibras de bambu do tipo *vittata* (*Bambusa vulgaris*) de 5 mm, 10 mm e 15 mm;
- analisar o comportamento em flexão do material compósito de matriz polimérica reforçado com fibras de sisal, *Agavesisalana Perrine* de 5 mm, 10 mm e 15 mm;
- verificar a influência do tipo de reforço e do comprimento das fibras na fabricação dos compósitos e dos corpos de prova;
- legislar acerca do melhor tipo de reforço para garantir a integridade estrutural do corpo de prova dentre as fibras empregadas;
- analisar o aspecto da fratura dos materiais compósitos; e
- correlacionar as propriedades mecânicas com os aspectos da fratura para cada material compósito dentre as series produzidas.

1.4 Materiais Compósitos

Compósito é um material multifásico artificialmente fabricado, contrariamente aos compósitos naturais. As fases constituintes necessitam ser quimicamente dissimilares e com distinta separação por interface. Logo, a maioria das ligas metálicas e grande parte das cerâmicas não podem ser chamadas de compósitos.⁽¹⁾

1.5 Matriz

A matriz tem como função primordial transferir as solicitações mecânicas às fibras e resguardá-las do ambiente externo. São contínuas e podem ter origem metálica, polimérica e cerâmica. As principais matrizes são as metálicas, as cerâmicas e as poliméricas.

1.5.1 Resina poliéster

Constituem uma família de polímeros de alto peso molecular, resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo especificamente dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. Poliéster é um termo que significa: poli (muitos, portanto muitos grupos ésteres); éster (é uma função química; um éster é obtido através da seguinte reação: ácido + álcool = éster + água). Desta maneira moléculas de biácido e de biálcool originarão várias moléculas formando o poliéster.⁽³⁾

1.6 Reforço

Materiais puros falham em virtude da propagação de rachaduras. Já em compósitos, por mais que ocorram rachaduras, elas não irão propagar-se ao conjunto todo. As fibras fornecem ao compósito as suas características mecânicas e podem ser usadas na direção em que se deseja obter o melhor desempenho. O reforço pode ser contínuo ou descontínuo.

1.7 Ensaio de Flexão dos Compósitos

A caracterização mecânica é um imprescindível elemento para a determinação da qualidade do controle associado aos processos de fabricação de materiais compósitos.

Para determinar as propriedades mecânicas do material foram feitos ensaios de resistência à flexão em três pontos, normalizado pela norma ASTM D790.⁽⁴⁾ Este ensaio é amplamente aplicado em materiais frágeis ou de elevada dureza, pois esses materiais, devido a sua baixa ductilidade, não permitem ou dificultam a utilização de outros tipos de ensaios mecânicos.⁽⁵⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matriz

O aglomerante empregado no desenrolar do presente trabalho fora a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada na relação agente de cura/resina, na

proporção de 0,33% (v/v). A resina foi adquirida já pré-acelerada com naftenato de cobalto (CoNap) na proporção de 0,15% em massa. Esta proporção de agente de cura/resina de 0,33% (v/v) foi utilizada baseada no trabalho de Rodrigues.⁽⁶⁾

2.2 Fibra de bambu

A fibra de bambu fora obtida dentro do campus da Universidade Federal do Pará, UFPA, campus de Belém-PA. O referido campus possui pontos em que tal vegetação cresce naturalmente. A extração foi feita através de corte das plantas de bambu, processo feito com uma serra, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1- Corte do bambu

O protocolo da Figura 2 segue a recomendação de que o corte seja feito o mais próximo possível do solo, logo acima de um nó para aproveitar ao máximo o comprimento da planta. O bambu cortado possuía 16 metros de comprimento. Foram confeccionados 60 corpos de prova para ensaio de flexão em três pontos.

2.3 Fibra de Sisal

A fibra de sisal fora adquirida no comércio da cidade de Belém e empregadas sem qualquer tipo de tratamento superficial e nas condições ambiente. A Figura 2 mostra a fibra no momento da aquisição.



Figura 2 – Fibras de sisal

A posteriori as fibras de sisal foram cortadas em 3 (três) comprimentos pré-estabelecidos, 5 mm, 10 mm e 15 mm. Para isso fora empregada uma tesoura comum além de papel milimetrado para maior precisão, conforme podemos ver na figura 3.



Figura 3 – Corte do sisal

Após o corte procede-se a retirada do papel milimetrado. Para saber quando o corte sera o bastante, aconselha-se usar propriedades massicas, pois o volume induzira erros.

2.4 Fabricação do Material Compósito

Para fabricar os compósitos, foram produzidos três moldes em silicone objetivando comportar no mínimo quatro 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 D790 ⁽⁴⁾ que legisla acerca do ensaio de flexão em três pontos. A Figura 4 exhibe um molde após o uso.



Figura 4 – Molde pós uso

Após pesagem, mistura e homogeneização das partes componentes do compósito, ocorre o vazamento da mistura dentro do molde acima. Segue-se o período de cura em estufa, conforme protocolo e só então os corpos de prova serão desmoldados. Note o percentual de resina desperdiçado no processo. Valor considerado baixo o bastante para ser desprezado no presente estudo.

2.5 Etapas dos corpos de prova

Após a cura, feita em 7 dias, os corpos de prova estão com superfícies irregulares e fibras com extremidades externas à resina, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 – Corpos de prova pré-lixamento

Pensando nestas irregularidades, o molde fora feito com dimensões levemente acima das normativas. Para tornar o corpo de prova apropriado ao ensaio, ele passa por uma serie de lixamentos. Desgastar o material sem que ele esteja superdimensionado acarretará perda dos corpos de prova.

Feito o lixamento, os corpos de prova apresentarão superfície lisa, conforme Figura 6. Devem ser lixados todos os lados das amostras, para evitar geração de tensões no momento do ensaio.



Figura 6 – Corpos de prova pós-lixamento

Após o lixamento procede-se a medição, com paquímetro, dos corpos de prova e a etiquetagem de cada um deles com numeração em ambas as extremidades e posterior uso, conforme Figura 7.

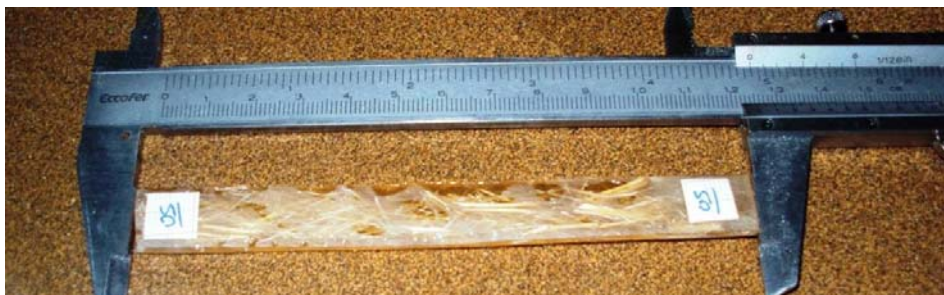


Figura 7 – Medição e etiquetagem dos corpos de prova

2.5 Ensaio Mecânico de Flexão em 3 Pontos do Material Compósito

O equipamento, usado, é uma máquina de ensaio universal modelo WDW 100E da Arotec, pertencente ao Instituto Federal do Pará, IFPA, conforme Figura 8. O ensaio está de acordo com a norma ASTM D790-03 ⁽⁴⁾, onde o corpo de prova é posicionado, de forma que, a carga é aplicada no centro do mesmo, com uma velocidade de 0,4 mm/min.



Figura 8 – Ensaio de flexão em 3 pontos

Os corpos de prova têm as suas dimensões tiradas, e é posicionado na base, estando esta centralizada em relação ao bico de avanço da máquina, evitando concentrações de tensões.

3 RESULTADOS

As amostras de bambu apresentaram deslocamento inferior às amostras de sisal no referente ao deslocamento, a resistência máxima em flexão e quase sempre também quando se compara a carga máxima, vide Tabela 1.

Tabela 1. Resultado obtido usando-se bambu como reforço

Tipo de amostra	Carga máxima (N)	Resistência máxima em flexão (MPa)	Deslocamento (mm)
Bambu 5 mm	26,8	0,399	25
Bambu 10 mm	20	0,353	35
Bambu 15 mm	18	0,346	25

Quanto à análise macroscópica da fratura, observou-se que ocorreu uma concentração inapropriada da fibra ao longo do corpo de prova. O formato retangular das fibras e o fato de elas serem grossas dificulta a absorção da carga após a ruptura da resina, conforme Figura 9.

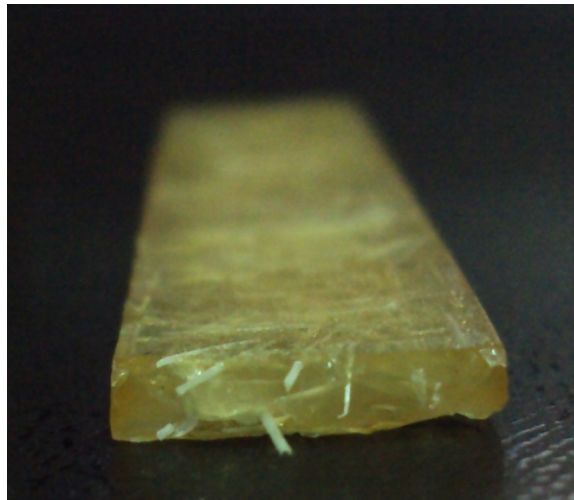


Figura 9. Amostra de bambu pós ruptura.

As amostras que usaram o sisal como fase dispersa apresentaram superioridade aos corpos de prova reforçados com fibra de bambu. As melhores amostras foram as de 10 mm, nas 3 características pesquisadas, vide Tabela 2.

Tabela 2. Resultado obtido usando-se sisal como reforço

Tipo de amostra	Carga máxima (N)	Resistência máxima em flexão (MPa)	Deslocamento (mm)
Sisal 5 mm	26	0,434	25
Sisal 10 mm	39,6	0,716	90
Sisal 15 mm	20,4	0,375	25

Quanto à análise macroscópica da fratura, observou-se que ocorreu uma interação baixa entre o aglomerante e a fase dispersa, como podemos notar pelo arrancamento das fibras, vide Figura 10.



Figura 10. Amostra de sisal pós-ruptura.

Pode-se notar pelos gráficos nas Figuras 11, 12 e 13 que as amostras de sisal apresentaram sempre melhor característica de suportar a carga após a resina ter se rompido.

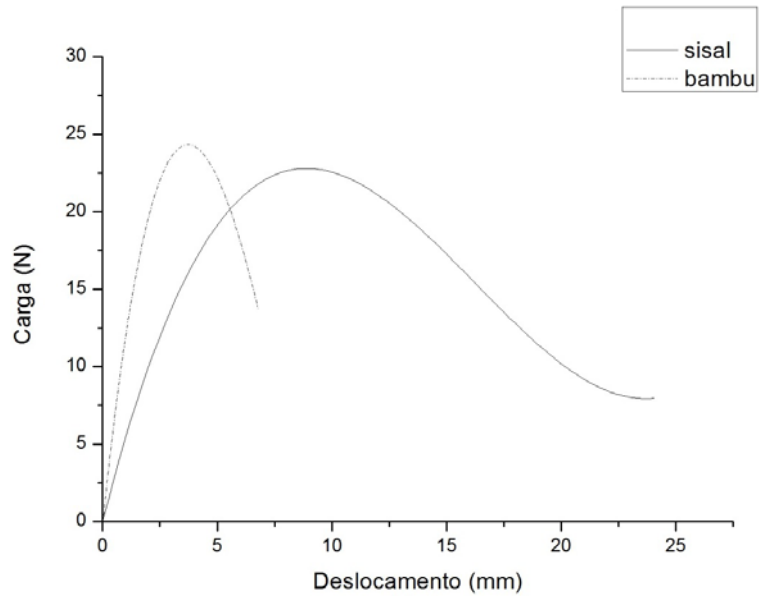


Figura 11. Comportamento das amostras de 5 mm.

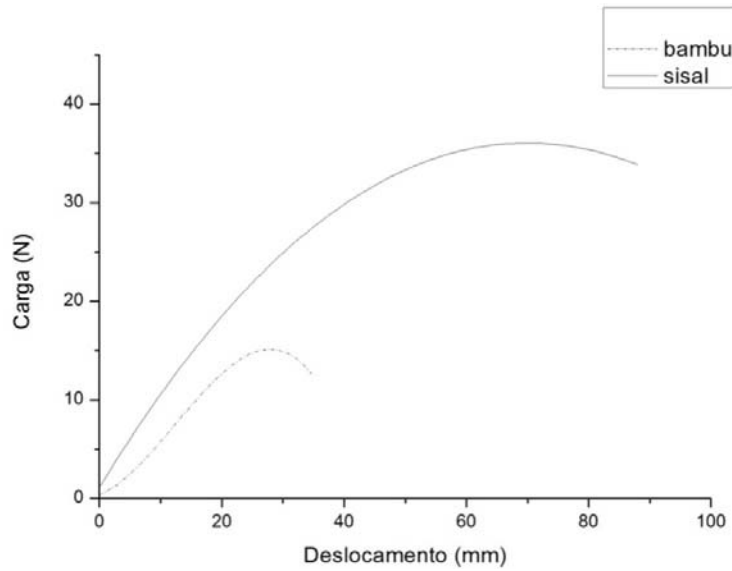


Figura 12. Comportamento das amostras de 10 mm.

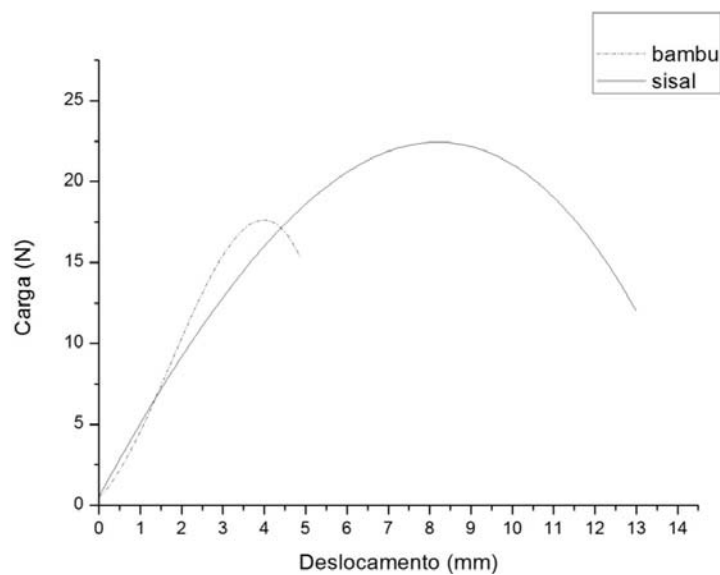


Figura 13. Comportamento das amostras de 15 mm.

4 DISCUSSÃO

Os compósitos onde se utilizara a fibra de bambu como reforço apresentaram propriedades mecânicas variáveis de acordo com o comprimento de fibra, sendo a de 5 mm a que apresentara melhor resultado e a de 15 mm o pior resultado, a primeira suportara uma carga máxima 49% maior que a segunda.

Quando utilizou-se o sisal como reforço, as propriedades mecânicas também variaram com o comprimento da fibra, porém o tipo de amostra que apresentou melhor resultado foi aquele que continha fibras no comprimento de 10 mm. A carga máxima deste grupo fora 94% superior ao sisal de 15 mm, o pior grupo dentre os pesquisados.

Em linhas gerais, o comprimento da fibra de reforço teria uma relação direta com a resistência do material. Porém, devido às dimensões diminutas dos corpos de prova, as fibras de 15 mm não se saíram tão bem quanto esperado. Quando o bambu foi a fibra de reforço, o comprimento ideal foi o de 5 mm e caso o sisal fosse o reforço, o comprimento ideal era o de 10 mm. Comparando-se os melhores grupos de cada categoria, o sisal apresentou uma capacidade de suportar carga 47% superior à melhor amostra com reforço de bambu, a de 5 mm.

Dentre as fibras empregadas, os corpos de prova com reforço de sisal 10 mm apresentaram-se numericamente a melhor capacidade de suportar carga, a maior resistência a flexão e visualmente, foi também o grupo que após o carregamento, estavam em melhor estado, por conseguirem fletir mais que todos os outros grupos.

Materiais compósitos, quando feitos com fibras sem tratamento, apresentam fraturas lineares, paralela e coincidente com a linha da carga.

A fratura não é brusca como em corpos de prova puros, o rompimento das amostras raramente é total, a menos que o corpo de prova apresente grandes lacunas, devido à má distribuição da fibra no interior do compósito.

Ainda quanto às fraturas, uma fratura linear indica que a integração reforço-matriz foi fraco, enquanto o arranchamento de fibras, ou trincas múltiplas ao longo do corpo de prova indicam que tal união foi benfeita. Neste último caso as propriedades mecânicas são superiores às do primeiro tipo de fratura citada.

5 CONCLUSÃO

Esses dados indicam que a maior resistência a flexão foi no compósito reforçado por fibras de sisal no comprimento de 10 mm sendo 49% superior ao compósito de fibras de 5 mm e 60% acima dos compósitos reforçados por fibras de 15 mm. Fato que provavelmente ocorreu por uma série de fatores como, por exemplo, é o método de fabricação ser manual sem pressão ou compactação, e em função dos tamanhos dos moldes.

Como as fibras são dispostas aleatoriamente, então fibras muito curtas (fibras de 5 mm) em maior quantidade devido a fração mássica utilizada (5,41%) e o tamanho dos moldes ser relativamente pequeno, então não haverá o efeito alinhamento das fibras no molde devido a quantidade ser alta, o que gera aglomeração e ocorrência de concentrações de tensões nas pontas das fibras, resultando em defeitos nos compósitos produzidos, gerando fissuras bruscas do material.

Já nos compósitos reforçados com fibras de 10 mm houve um melhor efeito e alinhamento das fibras no molde, mesmo as fibras dispostas aleatoriamente, isso ocorre porque a fração mássica é menor (4,87%) e aumentou-se o comprimento de fibras, logo diminui-se as pontas das fibras nos moldes, resultando menores

concentrações de tensões que resultam em trincas do material. Isso tudo leva há um bom desempenho de flexão.

Nos compósitos reforçados por fibras de 15 mm houve um decréscimo brusco com relação às outras séries ensaiadas com fibras de 5 mm e 10 mm, provavelmente devido ao método de fabricação (fibras dispostas aleatoriamente nos moldes) e também ao tamanho dos moldes serem pequenos.

Todos os corpos de prova passaram por lixamento antes dos ensaios de flexão para deixar os mesmos com acabamento e nas medidas requeridas pela norma de ensaio, então compósitos com moldes pequenos e fibras longas de 15 mm, essas fibras não ficam bem acomodadas no molde pelo fato do molde ser pequeno, logo o compósito cura com essas fibras nas mais variadas direções dentro do molde, não havendo efeito de alinhamento, quando esse material é submetido ao lixamento temos como consequência a ruptura, fragilização ou degradação das fibras pela ação da lixa, depreciando sua resistência à flexão.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de pós-graduação concedida, e ao Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM) da Universidade Federal do Pará e ao ITEGAM – Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- 1 CALLISTER, W. D. *Materials science and engineering: an introduction*, 4 ed, New York:
- 2 SHELDON, R.P. *Composite Polymeric Materials*. London, 1982.
- 3 EMBRAPOL, Disponível em <<http://www.embrapol.com.br/resina.htm>> acesso em 31 dez
- 4 ASTM D790 – 10 **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.**, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
- 5 AGARWAL, B. D. *Analysis and Performance of Fiber Composites*. New York, 1980.
- 6 RODRIGUES, J. **Comportamento Mecânico de Material Compósito de Matriz Poliéster Reforçado por Sistema Híbrido Fibras Naturais E Resíduos da Indústria Madeireira**. Belém, 2009. 91 folhas