

## USO DE RESÍDUOS DE BAMBU COMO REFORÇO NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO PAINÉIS DE OSB\*

Mariana Dias Machado Lopes<sup>1</sup>

Magno de Souza Pádua<sup>2</sup>

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

Felipe Perissé Duarte Lopes<sup>3</sup>

Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>4</sup>

### Resumo

A indústria de móveis no Brasil exibiu um crescimento e desenvolvimento significativo nos últimos anos, contudo a utilização de madeira maciça está cada vez mais rara, fazendo com que os painéis de madeira sejam a principal matéria prima para a produção de móveis. Como consequência a busca por materiais alternativos, destaca-se o uso de resíduos lignocelulósicos, como o bambu, que de forma especial é produzido em grande escala no Brasil. Visando produzir um material de propriedades similares ao Painel de Tiras e/ou Fibras Orientadas (*Oriented Strand Board*, OSB), compósitos foram produzidos com matriz de poliuretano vegetal e 40% de fibras alinhadas de resíduos de bambu. Para termos um melhor entendimento do resíduo de bambu utilizado no presente trabalho, foi determinada a massa específica das fibras e feita uma avaliação microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foram confeccionados corpos de prova de OSB comercial e de compósitos, os mesmos foram avaliados quanto a resistência ao impacto Charpy e flexão, a fractografia pós ensaios foi analisada por MEV. As propriedades dos compósitos reforçados com fibra de bambu obtiveram resultados significativamente superiores aos do OSB sendo viável o emprego do material compósito para uso como o OSB.

**Palavras-chave:** Ensaio de Impacto Charpy, Fractografia, Poliuretano Vegetal, Fibra de Bambu, OSB.

### USE OF BAMBOO WASTE AS REINFORCEMENT OF COMPOSITES TO BE USED AS OSB PANELS

#### Abstract

The furniture industry in Brazil has exhibited significant growth and development in recent years, but the use of wood is increasingly rare, making wood panels the main raw material for furniture production. As a consequence, the interest in alternative materials highlights the use of lignocellulosic residues, such as bamboo, which is largely produced in Brazil. Aiming to produce a material similar to Oriented Strand Board (OSB), composites were produced with a polyurethane matrix and 40% aligned fibers of bamboo waste. In order to have a better understanding of the bamboo residue used in the present work, the specific mass of the fibers was determined and a microstructural evaluation was made by scanning electron microscopy (SEM). Samples of commercial OSB and composites were made, they were evaluated for the resistance to Charpy impact and flexion, the fracture after the tests was analyzed by SEM. The properties of the composites reinforced with bamboo fiber obtained results significantly superior to those of the OSB being feasible the use of the composite material for use as the OSB.

**Keywords:** Charpy Impact Testing, Fractograph, Vegetal Polyurethane, Bamboo Fiber, OSB.

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.

<sup>3</sup> Pós doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.

<sup>4</sup> Professor de Ciência e Engenharia de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional exige maior demanda por bens de consumo, o que implica em um aumento significativo na geração de resíduos. A grande questão na atualidade é como avançar tecnologicamente tendo em mente o conceito de sustentabilidade.

Segundo Klímek *et al.*[8], tendo em vista os altos volumes de produção ligado as restrições dos recursos naturais, uma escassez futura no fornecimento de madeira, por exemplo, está potencialmente se tornando um assunto delicado. Desta forma, a crescente variedade de recursos lignocelulósicos pode ser de importância estratégica, visto que a utilização de resíduos como matéria-prima tem benefícios econômicos, reduzindo os encargos ambientais e melhorando a eficiência da cadeia de valor.

Dentre as fibras vegetais pesquisadas, destaca-se que as fibras de bambu possuem um grande potencial para ser utilizado como reforço em matrizes poliméricas, já que possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas, e podem ser facilmente cultivadas em território nacional. [6]

A Figura 1 fornece uma comparação do bambu em relação aos materiais convencionais. Deve-se notar que as interfaces de bambu com a madeira e o espaço dos compósitos efetivamente ambos em termos de desempenho e custo.

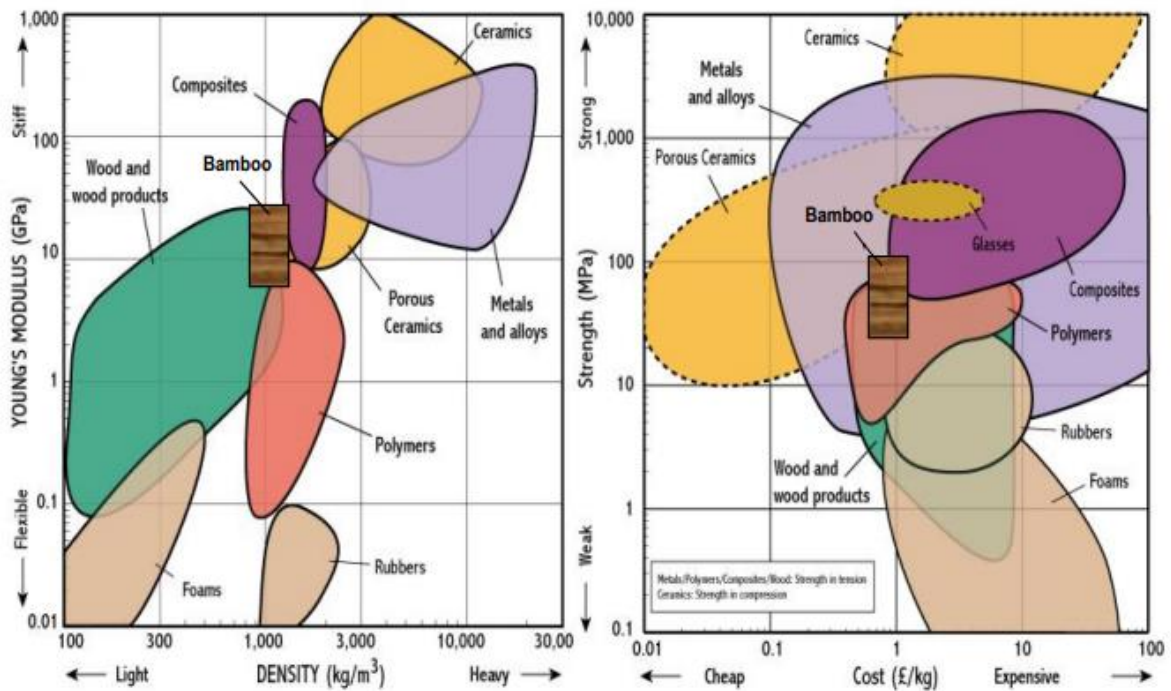


Figura 1 - Comparação de bambu com outros materiais de engenharia. Fonte: Vaidya, 2017

O bambu tem um ciclo de desenvolvimento rápido, tornando-o um recurso natural altamente atrativo se comparado com demais espécies arbóreas dos gêneros comerciais existentes. Além das aplicações comuns de bambu na construção civil, em fôrmas para concreto, o bambu pode ser aplicado na fabricação de laminados utilizando-se de resinas poliméricas sob determinadas condições como temperatura e pressão [4].

Jindal [7] observou em seu estudo que a resistência à tração da fibra de bambu utilizada como reforço em compósito de matriz polimérica é comparativamente equivalente ao do aço macio, enquanto a sua densidade é apenas 12% do aço-carbono. Portanto, estes compósitos podem ser extremamente úteis em diversas aplicações.

Além disso, a resina de poliuretano é um dos polímeros mais versáteis que existe, podendo ser proveniente de recurso renovável, tal como o poliuretano derivado do óleo de mamona, e em virtude do grande número de reagentes que podem ser usados para a sua fabricação, os poliuretanos podem ser fabricados em diversas formas: rígido, flexível, borrachoso e na forma de espumas. [19]

No Brasil, os painéis mais produzidos são os de aglomerados. Sendo confeccionados a partir de partículas de madeira compactado com adesivos e prensados a quente. Inicialmente esses painéis podem ser confeccionados utilizando qualquer material lignocelulósico que imprimam alta resistência mecânica e peso pré estabelecidos, já que a composição química é similar à da madeira. [17]

O OSB (*Oriented Strand Board*) é um painel de tiras/fibras orientadas, aglutinado com resina à prova de água e assentada pela prensagem a quente. É um produto com demanda em ascensão no Brasil, e também no mundo, já seu uso vem ocupando uma parcela de mercado antes exclusiva das chapas de madeira compensada, dado que o OSB pode ser produzido com custos menores, com maior aproveitamento da tora de madeira e com propriedades similares. [18]

O trabalho tem por objetivo o reaproveitamento de resíduos da fibra de bambu na confecção de compósitos para uso como painéis tipo OSB e na busca de maior empregabilidade deste resíduo que iria para aterros sanitários ou incinerados para este tipo de material.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Metodologia

A massa específica real das fibras foi medida através do ensaio de densidade relativa dos líquidos, pelo método do picnômetro segundo a ASTM D792. A água é utilizada como substância padrão na picnometria, em uma temperatura ambiente de 25 °C. (ASTM D792)

Para determinação da densidade aparente foi utilizada a Equação 1:

$$d = \frac{P2-P1}{(P4-P1)-(P3-P2)} \quad (1)$$

Em que:

P1 = Peso do picnômetro

P2 = Peso do picnômetro + amostra

P3 = Peso do picnômetro + amostra + água

P4 = peso do picnômetro + água

Foi realizada uma análise morfológica da fibra por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), essas análises foram realizadas em microscópio da marca Shimadzu, modelo SSX-550, que se encontra disponível no LAMAV/UENF operando em um intervalo de voltagem de 15-20 kV para o feixe de elétrons.

As amostras padrão para teste de impacto Charpy, com dimensões de 125 x 12,7 x 10mm, foram preparadas com fibras de bambu alinhadas ao longo do comprimento, de acordo com a norma ASTM D6110-10. Esses corpos de prova foram ensaiados, na máquina de ensaios de impactos da marca PANTEC e modelo Pendulum XC-50, à temperatura ambiente com energia incidente de 15J. Um mínimo de 10 corpos de prova foi utilizado para esse ensaio.

E para ensaio de flexão as amostras foram preparadas com dimensões de 125 x 6 x 10 mm, conforme a norma ASTM D790. Os corpos de prova foram testados na configuração de três pontos numa máquina universal de ensaios mecânicos, da marca INSTRON e modelo 5582 no LAMAV/UENF.

## 2.2 Resultados

O valor de densidade relatado pela literatura é em torno de 0,5 – 0,8 g/cm<sup>3</sup> [2-10] e a densidade obtida para a fibra de bambu foi de 1,31 g/cm<sup>3</sup>, similar ao resultado obtido por Costa [4] de 1,30 g/cm<sup>3</sup>, essa variação se deve à anatomia do colmo e tipo do bambu.

Quanto à análise micrográfica, alguns trabalhos revelaram que as propriedades macroestruturais da planta estão relacionadas à sua microestrutura [12]. As imagens obtidas no MEV, observadas na Figura 2, apresentam a microestrutura do bambu que é composta por três principais tipos: células fibrosas, células de parênquima e elementos vasculares.

A disposição e arranjo destes tipos de células que definem a resistência estrutural do bambu, mesmo sendo uma planta leve e de crescimento rápido. Na Figura 2, podemos observar duas das principais microestruturas encontradas no bambu.

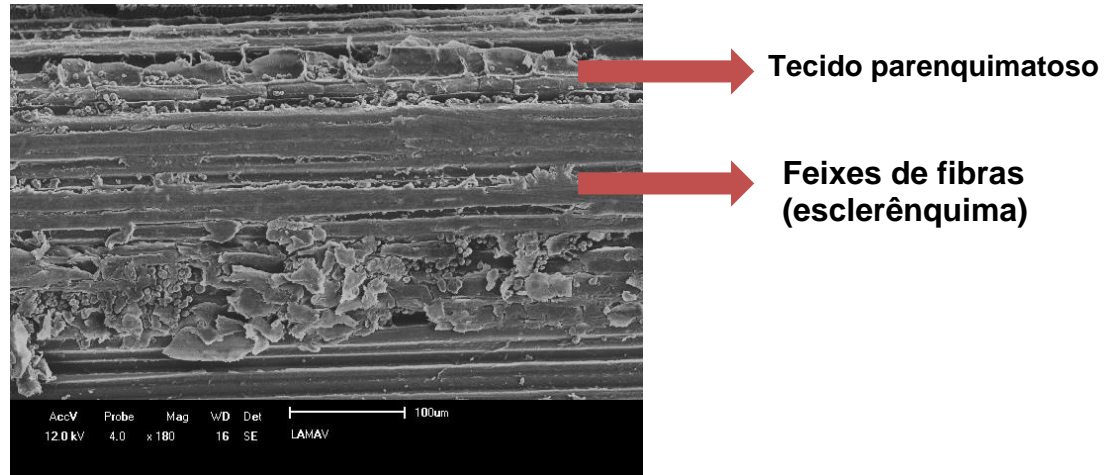


Figura 2 - Microestrutura do Bambu.  
Fonte: Própria.

O tecido principal do bambu é a parênquima e representa 40 a 60% da composição do colmo. Esse tecido, apesar de envolver feixes de fibras e feixes vasculares, não é organizado de forma homogênea, ou seja, 60% são encontrados na região basal e 40% na região apical. Esse tecido é composto por células vivas que são constituídas apenas parede primária, e explodem durante a perda de água, camuflando assim os resultados da retratibilidade (variação dimensional). E a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada a quantidade deste tipo de tecido [16]. Na Figura 2, é possível observar os tecidos que constituem a microestrutura da fibra de bambu e que eles não são dispostos de forma semelhante.

A natureza da interação polar e hidrofílica das fibras lignocelulósicas e a característica apolar e hidrofóbica das matrizes poliméricas geram dificuldades para uma compatibilidade de interfaces fibras/matriz, que promove uma diminuição da resistência mecânica em flexão do compósito [15]. A morfologia das fibras de bambu revelou uma superfície sem danos aparentes e a rugosidade observada na superfície ajudará na compactação com a matriz polimérica.

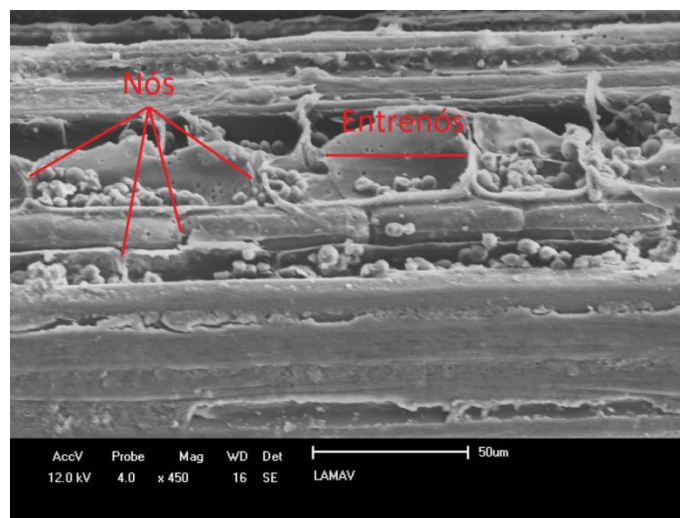


Figura 3 - Microestrutura do Bambu. Fonte: Própria

Sua microestrutura imprime à planta características de tenacidade com esforços de flexão e boa resistência à tração. Seu caule é caracterizado por ser oco, se dividindo em regiões de nós e entrenós, como mostra a Figura 3.

Foi possível observar que os compósitos de matriz poliuretano obtiveram um desempenho mecânico de resistência à flexão mais pronunciada que para os materiais OSB.

A Tabela 1 mostra a resistência a flexão do compósito e do OSB.

Tabela 1. Variação da resistência a flexão

Material	Módulo de elasticidade - Mpa
OSB	143,3356 ± 19,74
BAMBU	714,12 ± 113,76

A resistência ao impacto bem com a resistência à flexão é de grande importância no desenvolvimento dos materiais devido à sua aplicação na indústria moveleira. As curvas típicas da força de flexão vs. extensão, obtidas diretamente do sistema de aquisição de dados da máquina, são mostradas na Figura 4. É possível observar que as curvas para as amostras de OSB exibem deformação plástica limitada após o estágio elástico linear. Uma queda repentina ocorre em associação com o início da ruptura. Por outro lado, as amostras de compósitos de poliuretano exibiram uma deformação plástica mais pronunciada.

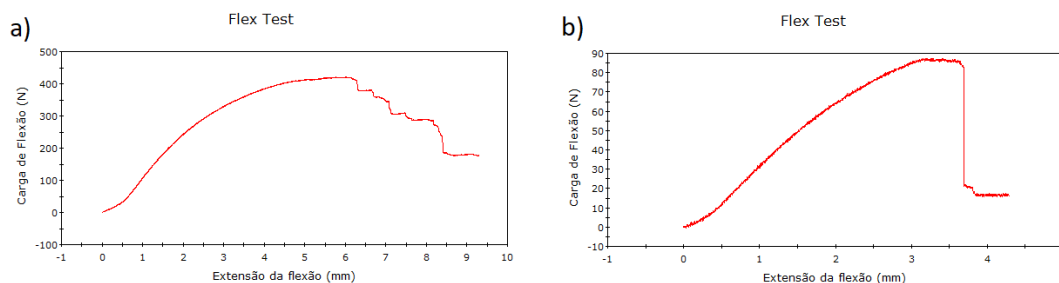


Figura 4 - Gráfico carga de flexão x extensão da flexão dos corpos de prova (a) Bambu/PU e (b) OSB

Fonte: Própria.

Isso indica que os compósitos utilizando poliuretano vegetal como matriz exibem uma resistência extra até serem gradualmente rompidos. Não havendo uma fratura súbita, que segundo Ferreira [5], isso se deve à efetiva resistência que as fibras oferecem à propagação de trincas por meio da frágil matriz.

Analisando-se a resistência ao impacto do material obtido neste trabalho, foi observado que, não houve, como no ensaio de impacto, uma equivalência de valores quando comparados ao OSB, o estudo mostrou que os resultados obtidos no ensaio foram significativamente superiores ao OSB.

Um dos fatores que colaboraram com a obtenção as propriedades mecânicas satisfatórias foi o fato de as saliências e reentrâncias das fibras terem sido prováveis pontos de ancoragem para o poliuretano à base de óleo de mamona, melhorando a resistência final do material.

A Tabela 2 mostra a energia de impacto charpy utilizando o compósito e o OSB

Tabela 2. Variação da energia de impacto Charpy .

Energia de impacto	KJ/m <sup>2</sup>	KJ/m
<b>OSB</b>	6,069±1,15	82,84
<b>BAMBU</b>	102,79±20,22	998

Observa-se que os ensaios de impacto por pêndulo charpy dos corpos de prova de materiais do tipo OSB tiveram resultados inferiores aos corpos de prova de compósitos reforçados com a fibra de bambu.

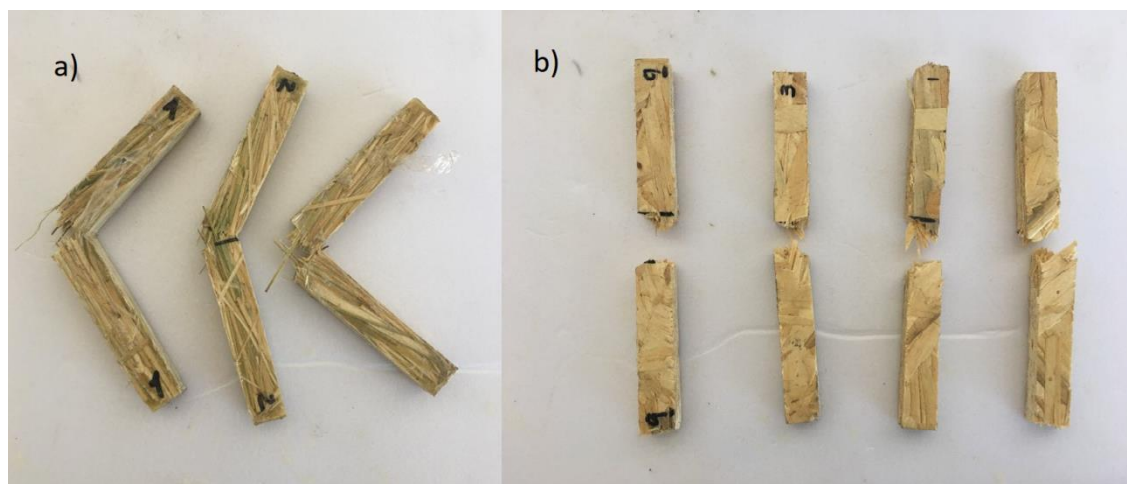


Figura 5 – Corpos de prova após o ensaio de impacto (a) Bambu/PU e (b) OSB

A Figura 5 exhibe os corpos de prova após o ensaio de impacto. O motivo pelo qual o corpo de prova do material compósito não se rompe completamente seria que após o impacto do martelo da máquina, a trinca se propaga se encontra com as fibras de bambu, que são mais resistentes, e essas trincas modificam sua direção de propagação, para um sentido longitudinal, que acompanham a interface fibra/matriz, menos resistente. Este mecanismo contribui para o aumento da capacidade de absorção de energia deste compósito, pois ao ocorrer a delaminação, os diversos filamentos resultantes do arrancamento superficial das fibras permanecem unindo as superfícies da trinca.

O mecanismo de união das superfícies de fratura de compósitos por fibras é denominado "bridging" e está relacionado a uma elevada tenacidade do compósito por gerar maior área de fratura, o que corresponde a maior energia absorvida no impacto [3-22].

### 3 CONCLUSÃO

A análise por picnometria das fibras de bambu para determinar a densidade resultou em valores superiores ao encontrado na literatura. As imagens do MEV reforçou a afirmativa de que a fibra possui uma superfície rugosa, sendo este um ponto positivo para a utilização como reforço em matrizes poliméricas.

Para os ensaios de flexão e impacto, conclui-se que os compósitos reforçados por fibras de bambu apresentam resistência superior ao painel de OSB comercial, sendo que o OSB exibe uma fratura súbita enquanto no material compósito existe uma pequena plasticidade devido a característica da resina e ação do reforço das fibras de bambu. .

A utilização de uma resina poliuretana de origem vegetal na fabricação de compósitos, como a derivada do óleo de mamona, vai de encontro com as necessidades atuais do mercado que busca materiais para aplicações tecnológicas originados de fontes renováveis e que não agride o meio ambiente.

Estes resultados comprovaram que existe a possibilidade de substituição do OSB pelo material compósito de resina poliuretana vegetal reforçado por fibras de bambu, não só mantendo-se as resistências mecânicas, mas também as melhorando.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte dado pela FAPERJ, CAPES e ao Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Estadual do Norte Fluminense – LAMAV/UENF.

### REFERÊNCIAS

- [1] AMERICAN SOCIETY OF MATERIALS. ASM Handbook -Composites. Materials Park, Ohio: American Society of Metals, v. 21, 2001.
- [2] BAI, X. Experimental and numerical evaluations of structural bamboo-based composite materials. 1996. v. 1, 163 p. Dissertação (MS in Forest Resources) - Clemson University, Clemson, 1996.
- [3] Bucknall, C. B.; Gilbert, A. H. (1989) Polymer, vol.30,213.
- [4] COSTA, D. S.; BANNA, W. R.; COSTA, D. da S.; SOUZA, J. A. S.; "LAMINADOS DE MATRIZ POLIMÉRICA E FIBRAS DE BAMBU CONTÍNUAS E ALINHADAS", p. 14234-14241 . In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014



- [5] Ferreira, A. da S. (2009) Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras longas de curauá. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) Campos - RJ. Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 190p.
- [6] GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. Revista Iberoamericana de Polímeros, Bilbao, v. 1, n.7, p.442-456, 2010. Disponível em: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC10/guimaraes.pdf> Acesso em: 19 de Fevereiro de 2019.
- [7] Jindal U.C., (1986) Development and testing of bamboo fibers reinforced plastic Composites. Journal of composite material, Vol. 20, pp. 19-29.
- [8] KLÍMEK, P.; WIMMER, R.; MEINLSCHMIDT, P.; KÚDELA, J. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. Industrial Crops And Products, [S. l.], v. 111, p. 270-276, jan. 2018.
- [9] LIGOWSKI, E.; SANTOS, B. C.; FUJIWARA, S. T. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 25, n. 1, p. 70-75, 2015.
- [10] LOPEZ, H.O. Bamboo the gift of the Gods. Bogotá: o autor, 2003. 553 p.
- [11] MACIEL, N. de O. R. Análise mecânica comparativa de tração, flexão e impacto entre compósitos reforçados com fibras de curauá e compósitos reforçados com fibras de vidro. 2017. 119f. Dissertação – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ.
- [12] MATTOS, R. L. G.; CHAGAS, F. B.; GONÇALVES, R. M. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.
- [13] MELO, S. L. S. Investigação das propriedades mecânicas e adesão interfacial dos compósitos de polipropileno virgem e reciclado reforçados com fibras e microfibras de bambu. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais)– Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- [14] NASCIMENTO, A. M., DELLA LUCIA, R.M. Propriedades físicas da madeira do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro) Boletim SIF. 6. Viçosa-MG., 1994.
- [15] OLIVEIRA, F. de. Lignosulfonato de sódio como agente de modificação da superfície de fibras lignocelulósicas e da formulação de termorrígido fenólico. 85 2010. Dissertação (Mestrado) – Ciências (Físico-Química), Instituto de Química de São Carlos, São Carlos-SP.
- [16] PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. Bambu de corpo e alma. 2a . ed. Bauru, SP: Canal6, 2008.
- [17] Rowell, R. M.; Han, J. S. & Rowell, J. S. - “Characterization and Factors Affecting Fiber Properties”, in: Natural Polymers and Agrofibers Based Composites, Section II - Agrofibers Composites, p.115, Elisabete Frollini et al. (ed.). Embrapa Instrumentação Agropecuária Ed., São Carlos-SP (2000).
- [18] SOUZA, A. M. (2012). Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus* sp. com inclusão de telas metálicas. 116f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012
- [19] TARGA, G. N. Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de

Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2011.

[20] Vaidya, Uday Kumar. Biobased bamboo composite development. United States: N. p., 2017. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1400154>.

[21] VENTURA, A. M. F. M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, v. 21, n. 3/4, p. 10-19, 2009.

[22] Yue, C.Y.; Looi, H.C; Quek, M.Y. (1995). Assessment of fibre-matrix adhesion and interfacial properties using the pullout test. *Int. J. Adhesion and Adhesives*, v.15, p. 73-80.