

## **POLIÉSTER E RESÍDUO DE *Hymenaea courbaril* PARA FABRICAÇÃO COMPÓSITO SUSTENTÁVEL**

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4260

Roberto Yuri Costa Dias - yuricostad@gmail.com  
Universidade Federal do Pará

Manoel Antonio Cantão Simões Junior - manoel.junior@itec.ufpa.br  
Universidade Federal do Pará

Alian Gomes da Silva de Mendonça - alian\_silva@hotmail.com  
Universidade Federal do Pará

Pedro Victor de Mendonça Maia - eng.pedromendonca@hotmail.com  
Universidade Federal do Pará

Roberto Tetsuo Fujiyama - fujiyama@ufpa.br  
Universidade Federal do Pará

**Resumo:** *A questão ambiental tem sido debatida fortemente na contemporaneidade, nesse sentido, pesquisas voltadas para tal ideal têm sido desenvolvidas, inclusive na área das engenharias. Com o intuito de sanar uma problemática que existe na indústria madeireira, isto é, a não utilização e consequentemente o descarte de todo resíduo de madeira este artigo trata da utilização de tais materiais aplicados na fabricação de compósitos, utilizando resíduo da madeira conhecida como "jatobá" (*Hymenaea courbaril*), em forma de pó, avaliando a possibilidade da atuação deste como fase de reforço. Para isso, foram fabricados corpos de prova de acordo com a norma ASTM D 638 para que fossem submetidos a ensaio de resistência à tração e os resultados foram comparados a outros obtidos em literaturas existentes. O valor médio de tensão máxima obtido foi de 11,76 MPa e o máximo 13,28 MPa.*

**Palavras-chave:** *compósitos, resíduo de madeira, jatobá.*

## POLIÉSTER E RESÍDUO DE *Hymenaea courbaril* PARA FABRICAÇÃO COMPÓSITO SUSTENTÁVEL

### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, verifica-se que a grande demanda por novas tecnologias relacionada ao consumo exacerbado dos recursos naturais proporcionou alguns problemas ambientais que são percebidos no mundo todo, a exemplo do acúmulo de variados tipos de resíduos no meio ambiente. Tal circunstância culminou na intensificação de debates de cunho ecológico e preservacionista, inclusive com conferências ambientais sendo realizadas em diversos países. Sendo assim, o ideal de sustentabilidade tem atuado como base para inúmeros trabalhos e pesquisas, até mesmo na área das engenharias.

A partir desta ideia, observa-se o desenvolvimento de inúmeros estudos acerca de compósitos. Estes materiais podem ser definidos como materiais multifásicos, geralmente dispostos em duas fases, uma denominada de matriz e a outra de reforço, as propriedades do composto resultante são derivadas das fases que o consistem. Nesse sentido, compósitos eficientes apresentam uma boa adesão entre as interfaces da matriz e do reforço. (CALLISTER, 2018)

Retomando ao princípio ecológico, existe uma área de pesquisa voltada para compósitos naturais, isto é, que são fabricados utilizando matérias-primas renováveis, dentre as mais utilizadas, destacam-se as fibras naturais, muito utilizadas como reforço em materiais compósitos. Nessa perspectiva os estudos sobre os materiais que são utilizados no âmbito dos compósitos têm sido fomentados, haja vista que suas aplicabilidades nos diversos setores da indústria atraem a atenção de empresas que possuem essa preocupação.

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diante disso, as fibras naturais apresentam um grande potencial devido a fatores como: biodegradabilidade, abundância e alto desempenho associado ao baixo custo (KOTIK, 2019). Para o presente trabalho, tem-se a utilização de outra matéria-prima, os resíduos de madeira provenientes de processos da indústria madeireira, busca-se uma alternativa de reaproveitamento para os materiais que, a princípio, seriam descartados.

A madeira é um dos recursos mais importantes da atualidade, alguns fatores que a tornam tão valiosa são o fato de ser um recurso renovável e apresentar certa versatilidade, tem-se inúmeras aplicações, como material estrutural no ramo da construção civil, indústria moveleira, ou matéria-prima da indústria química. Verifica-se que a decomposição de resíduos de madeira ao relento pode resultar na propagação de metano, gás que promove a intensificação do efeito estufa (PEREIRA *et al*, 2011).

Diante disso, a madeira é extremamente importante no que diz respeito a utilização desses recursos na área da engenharia, sobretudo na fabricação de compósitos. Nesse sentido são desenvolvidos esses materiais com partículas de madeira com a matriz

polimérica. Os polímeros podem ser termofixos/termoplásticos ou biodegradáveis/não biodegradáveis, enquanto os reforços particulados podem ser de madeira com determinados níveis de dureza e rigidez (KHAN, 2020).

É crescente o interesse de pesquisadores e indústria madeireira no desenvolvimento de maneiras de reutilizar o resíduo. Com isso, proporcionando retorno econômico para a empresa, que eventualmente não aproveita uma quantidade considerável dos resíduos, além de resultar na redução da matéria depositada no meio ambiente (ZOCH, 2013). Existem algumas formas nas quais o resíduo de madeira descartado pode ser encontrado, a seguir, a figura 1 ilustra os principais.

Figura 1 – Principais tipos de resíduos encontrados



Fonte: WILDNER, 2015

Diante deste contexto, a utilização de materiais nomeados como não convencionais tem tido cada vez mais relevância em estudos e pesquisas científicas. Os materiais compósitos destaque nos mais variados segmentos por conta da promoção de uma variedade de propriedades resultante da união de materiais, de tal maneira que podem ser estas podem ser mais apreciáveis do que quando relacionadas a uma avaliação das propriedades individuais de cada componente (da COSTA, *et al*).

Existem alguns trabalhos que abordam e exibem resultados acerca da fabricação de compósitos utilizando variados tipos de resíduo de madeira e de diferentes espécies, alguns associados também a fibras naturais. LOPES *et al*, 2013 promoveu uma pesquisa envolvendo compósitos de matriz poliéster reforçados com resíduos de madeira de diferentes morfologias, o tipo de madeira utilizada foi Angelim Pedra, tendo obtido o melhor resultado após ensaio de tração para amostra peneirada acima de 150 microns e possuindo fração mássica de 6,86%, o valor de tensão máxima foi de 24,10 MPa.

SANTOS *et al*, 2018 obtiveram resultados de propriedades para a utilização de resíduos de maracatiara, marupá e angelim pedra, na forma de maravalha, proveniente do processo de corte da madeira, a partir da fabricação de compósitos de Poliéster/Resíduo de Madeira. Foram alcançados os seguintes resultados para os tipos de madeira citados, respectivamente: 9,17 MPa, 9,43 MPa e 8,81 MPa.

Em se tratando da utilização de resíduos de madeira juntamente com fibras naturais, tem-se resultados para um compósito híbrido de fibras de sisal de comprimento variado e

angelim pedra. O melhor valor de resistência à tração obtido por meio de ensaios foi de 19, 19 MPa para uma proporção de 25% de fibra e 75% de resíduo, valor que foi superior aos de 50% e 25% de resíduo (SANTOS, *et al*, 2013).

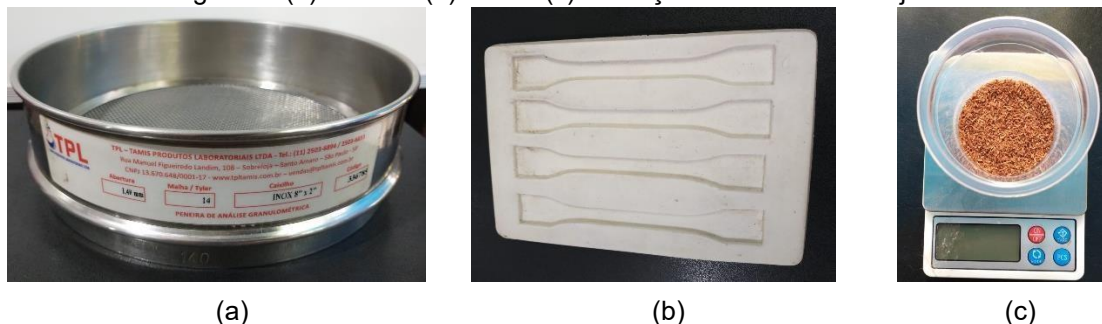
Os resíduos de madeira jatobá também já foram utilizados para a elaboração de trabalhos científicos. REIS *et al*, 2016 produziram uma análise de compósito híbrido, além do resíduo mencionado houve o incremento de tecidos de juta para compor o reforço, sendo obtido um valor médio de 40,66 MPa.

Portanto, o presente artigo tem por objetivo a fabricação de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com resíduo de madeira jatobá, (*Hymenaea spp*), em forma de pó, vislumbrando o reaproveitamento de materiais que à princípio seriam descartados, buscando uma redução de impactos ao meio ambiente. Para posterior obtenção de propriedades mecânicas, com ênfase para o limite de resistência à tração foram fabricados corpos de prova normatizados que foram submetidos a ensaio, assim pode-se avaliar viabilidade e eficiência mecânica do material.

### 3 METODOLOGIA

O resíduo de madeira jatobá, foi obtido pelos entes do Laboratório de materiais compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA) em forma de pó. De posse da matéria-prima, com o intuito de uniformizar a composição das amostras produzidas, esta passou por um processo de peneiramento utilizando uma peneira de análise granulométrica com abertura de 1,4 mm, conforme figura 2-a. Posteriormente, um molde de silicone, como o identificado pela figura 2-b, com quatro lacunas padronizadas pela norma ASTM D 638 foram preenchidos com o objetivo de quantificar a quantidade de material necessária para o preenchimento do molde, esse valor foi definido por meio de pesagem, utilizando a balança de precisão ilustrada pela figura 2-c.

Figura 2- (a) Peneira (b) Molde (c) Balança com o resíduo de jatobá



Fonte: autoria própria

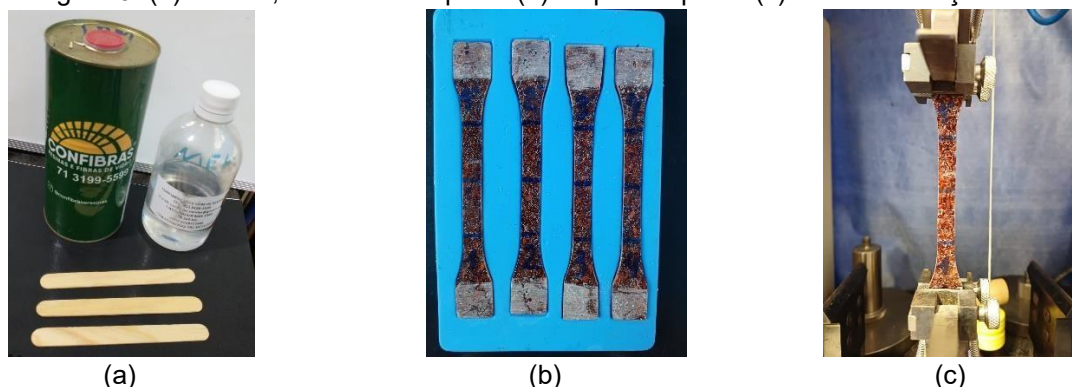
Para o processo de fabricação, a matriz do compósito foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, como matriz do compósito o catalisador MEK V388, utilizado para acelerar o processo de cura, isto é, a solidificação do material. Então, palitos de madeira foram usados para misturar o MEK e resina, os componentes citados estão apresentados na figura 3-a, a proporção utilizada foi de 0,3 g de catalisador para 61,5 g



de resina, após isto, houve o vazamento no molde. Os corpos de prova foram submetidos a uma pós-cura em estufa, a uma temperatura de aproximadamente 60°C e então estavam aptos a serem ensaiados, estes são visualizados na figura 3-b.

Ainda, para um melhor acabamento e facilidade de realização do ensaio, os corpos de prova tiveram a região conhecida como "tab" lixada, por isso o aspecto branco apresentado na figura 3-c. Para a última etapa, ocorreu o ensaio de resistência à tração, utilizando uma máquina universal de ensaios de acordo com a norma ASTM D638 o parâmetro de ensaio velocidade de 5 mm/min.

Figura 3- (a) Resina, catalisador e palito (b) corpos de prova (c) ensaio de tração



Fonte: autoria própria

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o ensaio de resistência a tração, o software da máquina proporciona resultados de propriedades interessantes, conforme a tabela 1, com destaque para a tensão máxima, obtida pela relação de Força (N) por Área (mm<sup>2</sup>), resultando na grandeza Megapascal (MPa), relacionada e tensão. O valor médio de tensões máximas se aproximou dos valores para cada corpo de prova, demonstrando certa regularidade, isto é, com um valor de desvio padrão baixo. A figura 4 expõem um dos corpos de prova pós procedimento, as lixas na região do "tab" foram fixadas com o intuito de evitar escorregamentos na garra da máquina durante o processo.

Tabela 1 – Dados obtidos do ensaio de resistência a tração

Jatobá	FORÇA MÁX (N)	TENSÃO MÁX (MPa)	DEFORMAÇÃO (mm/mm)	MÓDULO (MPa)
CP1	452,33	9,71	0,035	427,74
CP2	532,05	13,02	0,039	505,35
CP3	429,94	11,01	0,027	514,11
CP4	537,56	13,28	0,035	475,8
MÉDIA	487,97	11,76	0,034	480,75
DESV.PAD	54,89	1,70	0,005	38,96

Fonte: autoria própria

Figura 4 - Corpo de prova fraturado

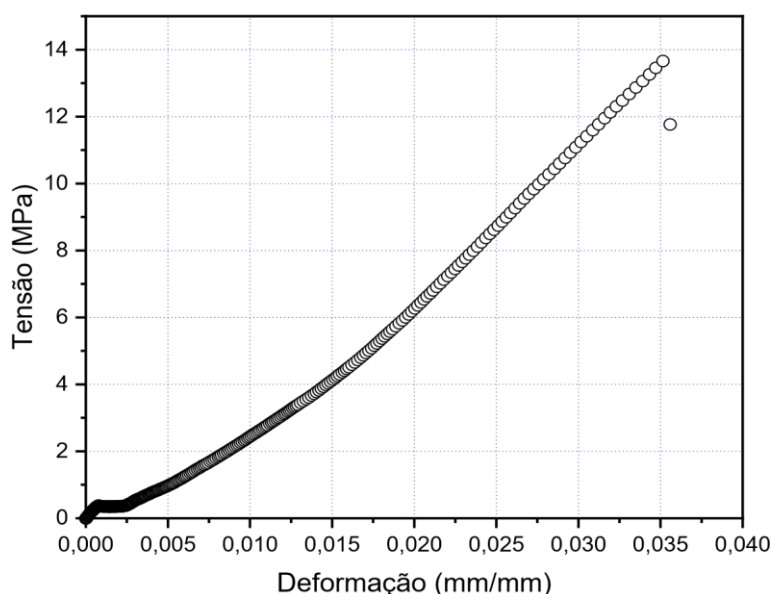


Observa-se que tanto o valor médio de tensão máxima, quanto os resultados individuais de cada corpo de prova, foram superiores aos obtidos por SANTOS *et al*, 2018, utilizando outros tipos de madeira, maracatiara, marupá e angelim pedra, sendo o corpo de prova 4, que apresentou o valor de 13,28 MPa, como o maior dentre os 4, bem como o valor médio de 11,76 MPa maiores que os valores médios de 9,17 MPa, 9,43 MPa e 8,81 MPa para as respectivas espécies.

Quando comparado aos híbridos dos estudos de , LOPES *et al*, 2013 e SANTOS, *et al*, 2013 os valores obtidos pelo ensaio foram superados, verificando que a presença de outros elementos de reforço, isto é, as fibras naturais de juta podem proporcionar um incremento de resistência mecânica e, conseqüentemente, a elevação do valor da tensão máxima, visto que os valores de 24,10 MPa e 19,19 MPa, verificados pelos autores, respectivamente, foram, de certo modo, significativamente maiores que os expostos pelo presente trabalho.

Por conseguinte, o resultado de REIS *et al*, 2016 foi consideravelmente superior aos expostos neste artigo. A presença de manta natural, nesse caso, de juta, é entendida como um incremento considerável de resistência mecânica, bem como ocorreu com as fibras naturais de LOPES *et al*, 2013 e SANTOS, *et al*, 2013, verificando que estes componentes podem atuar em conjunto para promover propriedades apreciáveis.

Gráfico 1- Curva característica do compósito de jatobá



Fonte: autoria própria

No gráfico 1 é observado a curva força versus deslocamento característica do material compósito obtido no ensaio de tração. A curva mostra que na parte inicial do ensaio, uma região não totalmente linear é observada, que indica a característica de ajuste da fase polimérica e acomodação do resíduo de madeira, após o qual o material compósito passa resistir a força de carregamento.

## 4 CONCLUSÕES

Analisando os valores obtidos pelo ensaio, tem-se estes como apreciáveis, tendo em vista as comparações feitas com outros autores, tal circunstância é otimista pelo fato de fortificar a possibilidade de uma destinação diferente para os resíduos de madeira, valorizando uma ação ecologicamente agradável e cientificamente interessante. Além disso, também pôde ser questionada a presença de fibras naturais e mantas atuando com conjunto com o resíduo de madeira de jatobá como uma forma de amplificar os valores de propriedades obtidos, por conseguinte, ambos provêm de recursos renováveis, mantendo o ideal preservacionista.

Ademais, no quesito processo de fabricação, avalia-se possíveis problemas que podem vir a interferir nos resultados obtidos. Primeiramente, pelo fato de se tratar de um processo inteiramente manual, tem-se a suscetibilidade ao erro, com isso, podem ser observadas falhas superficiais nos corpos de prova. Conhecidos como vazios, estes podem atuar como concentradores de tensão e promover a falha do material em regiões específicas, antes do que poderia ser alcançado, ou seja, reduzindo sua resistência mecânica.

De maneira geral, o estudo da utilização de resíduos provenientes da indústria madeireira é produtivo, valorizando o ideal ecológico que é pauta global, sobretudo no que diz respeito a postura das empresas e indústrias quanto a tal circunstância. Sendo assim, a partir de tal pesquisa, há a possibilidade de se obter materiais que satisfaçam uma mínima exigência de solicitações mecânicas e possam ter aplicações, a exemplo de componentes estruturais.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio recebido pela Faculdade de Engenharia Mecânica do ITECUFPA e aos alunos PIBIC bolsista da PROPESP-UFPA.

## REFERÊNCIAS

ASTM, D. D 638-1989, “. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (metric)**”, **Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials**, 1989.

CALLISTER JÚNIOR, W. D; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais - uma Introdução**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 1014p.

COSTA, D. S.; BANNA, W. R. E.; OLIVEIRA, L. S.; SANTOS, A. J. G.; COSTA, D. S.; SOUZA, J. A. S. **Resíduo industrial (cinzas) com fibra de sisal em compósitos poliméricos / Industrial residue (ash) with sisal fiber in polymeric composites**. *Brazilian Applied Science Review*, v. 2, p. 2287-2294, 2018.

KOTIK, H. G. **Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento**. *Revista Matéria*, v. 24, n.3, 2019.

KHAN, Mohammad ZR; SRIVASTAVA, Sunil Kumar; GUPTA, M. K. **A state-of-the-art review on particulate wood polymer composites: Processing, properties and applications.** *Polymer Testing*, v. 89, p. 106721, 2020.

LOPES, C.E.P; PEREIRA, L. C. O.; COSTA, D. S. ; LOPES, R. V. P. ; PINTO, V. B. ; FUJIYAMA, R. T. ; LEITE, J. C. . **Materiais compósitos de matriz poliéster reforçados com resíduos de madeira de diferentes morfologias.** In: Congresso Brasileiro de Polímeros, 2013, Florianópolis-SC. Congresso Brasileiro de Polímeros - CBPOL. Florianópolis-SC: CBPOL, 2013. v. 1. p. 1-100-1. Disponível em: <http://edemocracia.com.br/cbpol/anais/2013/lista/>. Acesso em: 08/05/2023.

PERERIA, L. C. de O.; TAKAHASHI, R.; Vilhena, R. V.; OLIVEIRA, Dênio Raman de; FUJIYAMA, R. T. **Caracterização de resíduos de madeira e fibras de sisal para fabricação de materiais compósitos de matriz poliéster.** In: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Blumenau. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011. v. 1. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/interna.php?ss=8&ctd=86>. Acesso em: 08/05/2023.

REIS, M. V. R.; FERNANDES, E. A. ; SILVA, S. C. ; SILVA, M. L. S. ; PEREIRA, G. H. F. ; OKABE, I. H. ; BRANCO, C. T. N. M. ; FUJIYAMA, R. T. . **Resíduo de madeira jatobá (*Hymenaea spp*), na forma em pó, em compósitos de poliéster e fibras de juta.** In: 68ª Reunião Anual da SBPC, 2016, Porto Seguro. 68ª Reunião Anual da SBPC. Porto Seguro: 68ª Reunião Anual da SBPC, 2016. v. 1. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/68ra/resumos/listatodos.htm>. Acesso em: 10/05/2023.

SANTOS, J. A.; KUWAHARA, M.; Santos, I. P.; SANTOS, C.; Pereria, L. C. de O.; LOPES, C. E. P.; SANTOS, E. J. S.; da Costa, D, S.; El Banna, W. R.; FUJIYAMA, R. T. **Materiais compósitos de matriz poliéster reforçado com resíduos de madeira com fibra de sisal de comprimento híbrido com variação de 5 a 15 mm.** In: 68 Congresso da ABM Internacional, 2013, Belo Horizonte. 68 Congresso da ABM Internacional. São Paulo: ABM, 2013. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/materiais-compósitos-dematriz-polister-reforado-com-resduos-de-madeira-e-fibras-de-sisal-de-comprimentohbridocom-variao-de-5-a-15-mm>. Acesso em: 08/05/2023.

SANTOS, R.; RIBEIRO, M. M.; FUJIYAMA, R. T.; BRANCO, C. T. N. M.. **Placas laminadas de compósito poliéster, tecido de juta e resíduos de madeira.** ESTUDOS TECNOLÓGICOS (ONLINE), v. 12, p. 68-77, 2018.

WILDNER, M. V. **Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira para aplicação em novos produtos de mobiliário.** 2015. Monografia - Curso de Design. Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/items/1982a51e-aad5-48f2-886b-f7e5f463c22b>. Acesso em: 11/05/2023.



ZOCH, V. P. **Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados.** Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em:  
<<https://bdm.unb.br/handle/10483/4840>>. Acesso em: 09/05/2023.

## POLYESTER AND RESIDUE OF HYMENAEA COURBARIL FOR MANUFACTURING SUSTAINABLE COMPOSITE

**Abstract:** *The environmental issue has been strongly debated in contemporary times, in this sense, research aimed at this ideal has been developed, including in engineering. To solve a problem that exists in the wood industry, that is, the non-use and consequently the disposal of all wood waste, this article deals with the use of such materials applied in the manufacture of composites, using wood waste known as "jatobá" (Hymenaea courbaril), in the form of powder, evaluating the possibility of acting as a reinforcement phase. For this, specimens were manufactured in accordance with the ASTM D 638 standard so that they could be subjected to a tensile strength test and the results were compared to others obtained in existing literature. The average maximum stress value obtained was 11.76 MPa and the maximum 13.28 MPa.*

**Keywords:** *composites, wood residue, jatobá.*