

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA DE MATERIAIS COMPOSTOS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROENERGÉTICOS (PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR *SACCHARUM OFFICINARUM* E RESINA À BASE DO ÓLEO DE MAMONA)

EVALUATION OF THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS FROM AGRO-ENERGY RESIDUES (SUGARCANE STRAW *SACCHARUM OFFICINARUM* AND CASTOR OIL-BASED RESIN)

Hélida Cristina Noronha Figueiredo ¹

Juan Carlos Valdés Serra ²

Marcus Vinicius Ribeiro e Souza ³

Submetido: 08/05/2020 / Aprovado: 14/10/2021 / Publicado: 26/11/2021.

Resumo

A busca por um novo paradigma em preservar o meio ambiente e utilizar produtos naturais que contribuem para um maior interesse na utilização de materiais compósitos poliméricos com fibras vegetais. O estudo teve como objetivo produzir material compósito a partir da palha de cana-de-açúcar e resina à base do óleo de mamona. As fibras foram utilizadas em duas faixas de tamanhos: $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ e $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$; e resina na proporção de 10%, 15% e 20%. As partículas obtidas possuem a forma de projeção quadrada. O método de preparação foi realizado conforme a NBR 14810-2:2018, utilizando-se a técnica de moldagem por compressão a temperatura ambiente. Foram realizados os ensaios físicos: umidade, densidade e inchamento; e os ensaios mecânicos de: elasticidade, flexão e compressão. Avaliou-se o ensaio morfológico: microscopia eletrônica de varredura; e o ensaio de biodegradabilidade do compósito, no período de três meses. Para validação dos resultados, foi realizada a estatística com significância a 5% pelo teste F, comparado as médias pelo teste Scott-knott dos tratamentos físicos e mecânicos. Os resultados mostraram que os valores dos ensaios físicos atenderam os limites mínimos que estabelece a norma, resultando em 8,72% o inchamento do material compósito. No ensaio mecânico, o compósito de menor fibra e 20% de resina foi mais resistente no teste de flexão com capacidade de 3,69 N/mm², elasticidade com 211,32 N/mm² e no ensaio de compressão com 2,98 N/mm². A análise morfológica apresentou ampla interação na interface entre matriz/reforço. O ensaio de biodegradação mostrou-se que no segundo mês houve uma redução no peso do material compósito, o que mostra o aprimoramento da degradação. Portanto, o compósito produzido possui um grande potencial no mercado, pode ser utilizado na fabricação de mesas, cadeiras e paredes, além de possuir um baixo custo em relação aos compósitos produzidos de fibras sintéticas.

Palavras-chave: Material compósito. Palha da cana-de-açúcar. Resina à base do óleo de mamona.

¹ Mestre em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins. E-mail: helidacristina1298@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica. Professor da Universidade Federal do Tocantins. E-mail: juancs@uft.edu.br

³ Doutor em Geotecnia. Professor da Universidade Federal do Tocantins. E-mail: marcussouza@uft.edu.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.5467>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Abstract

The search for a new paradigm of preserving the environment and using natural products that contribute to a greater interest in the use of polymeric composite materials with plant fibers. The study aimed to produce composite material from sugarcane straw and castor oil-based resin. The fibers were used in two size ranges: $0 < \text{fibers} \leq 4.27\text{mm}$ and $4.27 < \text{fibers} < 10\text{mm}$; and resin in the proportion of 10%, 15% and 20%. The particles obtained have the shape of a square projection. The preparation method was carried out in accordance with NBR 14810-2:2018, using the compression molding technique at room temperature. Physical tests were carried out: moisture, density and swelling; and mechanical tests of: elasticity, bending and compression. The morphological assay was evaluated: scanning electron microscopy; and the biodegradability test of the composite, in a period of three months. In order to validate the results, statistical significance at 5% was performed using the F test, compared to the averages using the Scott-knott test for physical and mechanical treatments. The results showed that the values of the physical tests have met the minimum limits established by the standard, resulting in 8.72% swelling of the composite material. In the mechanical test, the composite with the smallest fiber and 20% resin was more resistant in the bending test with a capacity of 3.69 N/mm², elasticity with 211.32 N/mm² and in the compression test with 2.98 N/mm². The morphological analysis showed a wide interaction in the interface between matrix/reinforcement. The biodegradation test showed that in the second month there was a reduction in the weight of the composite material, which shows the improvement in degradation. Therefore, the composite produced has a great potential in the market, it can be used in the manufacturing of tables, chairs and walls, in addition to having low cost compared to composites produced from synthetic fibers.

Keywords: Composite material. Sugar cane straw. Castor oil-based resin.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa uma posição privilegiada para o desenvolvimento mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância no agronegócio brasileiro. A produção de cana-de-açúcar e álcool atingiu uma proporção significativa nos últimos anos. Devido ao aumento da produção de cana-de-açúcar, tornam o Brasil um participante na comercialização mundial com elevada competitividade (Kohlhepp, 2010). Além disso, gera quantidades significativas de resíduos de biomassa durante a colheita e processamento da cana-de-açúcar (Barros *et al.*, 2018).

A palha é mais um subproduto do setor sucroalcooleiro, que vem aumentando gradualmente e a inserção de novas e mais avançadas tecnologias agrícolas e industriais visam a recuperação integral ou parcial da palha (Oliveira *et al.*, 2014). A palha de cana-de-açúcar é produzida em grandes quantidades e geralmente é deixada a maior parte no campo para cobrir o solo nu, no entanto, algumas palhas podem ser reutilizadas sem afetar essa proteção (MORAES *et al.*, 2016). A palha da cana-de-açúcar compreende as folhas secas, folhas frescas e o topo da planta (Santos *et al.*, 2012).

O uso de fibras vegetais em vários ramos da indústria moderna é uma área de interesse para pesquisadores focados em promover o desenvolvimento de materiais não convencionais (Rodrigues, Souza & Fujiyama, 2015). A ampla disponibilidade, a rápida renovação, a economia, o baixo peso e as altas propriedades específicas das fibras vegetais, bem como seu caráter biodegradável e sua alta resistência à abrasão, permitem considerá-los uma alternativa razoável quando comparados com as fibras tradicionalmente utilizadas (Misra, Pandey, & Mohanty, 2015).

Materiais compósitos que compreendem elementos renováveis ou sustentáveis para fibras ou matrizes estão atraindo interesse por suas perspectivas econômicas e ambientais, oferecendo utilidade em vários setores devido à sua capacidade de formabilidade, peso leve e atributos de



design (Vasiliev & Morozov, 2018). Os compósitos baseados em materiais ecológicos e renováveis são cada vez mais utilizados, para substituir materiais convencionais formados a partir de compósitos de materiais sintéticos que permitem reduzir o efeito das emissões de gases de efeito estufa (Sanjay *et al.*, 2018).

O presente trabalho tem como objetivo produzir materiais compósitos utilizando um resíduo agroenergético (palha da cana-de-açúcar) e resina à base do óleo de mamona. O estudo inclui as especificações técnicas, conforme a NBR 14810-2:2018 – Painéis de partículas de média densidade - Requisitos e métodos de ensaio; utilizando fibras vegetais como uma forma de valorizar os resíduos da agroindústria, visando o aproveitamento de recursos naturais disponíveis no meio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados

Resina poliuretano derivado de óleo de mamona, doada pela Empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, na cidade de Aguaí - São Paulo. É descrita como IMPERVEG AGT 1315, resina a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), bi-componente, 100% sólido, formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioliol (componente B), misturados na proporção de 1:1,5 resultando polímeros com diferentes características, de excepcional estabilidade físico-química, elasticidade, impermeabilidade.

Palha da cana-de-açúcar espécie *Saccharum officinarum*, fornecida pela Fazenda Água Limpa no município de Pequiizeiro - Tocantins. O material foi removido manualmente do colmo, trituradas em um desintegrador picador forrageira da marca Vencedora Maqtron e embaladas em sacos plástico. As fibras foram passadas na peneira com dimensão granulométrica de 4,27 mm, obtendo dois tamanhos de fibras $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ e $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$, o que ficou retido e o que passou na peneira, sendo utilizados estes dois tamanhos para a obtenção do material compósito. Não foram realizados tratamentos químicos nas fibras.

2.2 Materiais Utilizados

Os compósitos foram preparados por moldagem à compressão, conforme Marinho *et al.* (2013). A Tabela 1 mostra as quantidades de fibras e resinas utilizados na produção dos corpos de prova. As concentrações de resina nas fibras foram de 10%, 15% e 20% em massa.

Tabela 1. Composição dos corpos de prova

Amostra	Tamanho ($0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$)		Tamanho ($4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$)	
	Fibra (mL)	Resina (mL)	Fibra (mL)	Resina (mL)
CP1 ₁₀	1000	100	-	-
CP1 ₁₅	1000	150	-	-
CP1 ₂₀	1000	200	-	-
CP2 ₁₀	-	-	1200	120
CP2 ₁₅	-	-	1200	180
CP2 ₂₀	-	-	1200	240

Os componentes de poliuretano foram misturados manualmente, sendo preparado conforme as recomendações do fabricante. A resina misturada foi então adicionada às fibras

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.5467>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

trituras em uma bateadeira da marca Mondial para a mistura dos componentes. Depois disso, foram colocados um molde metálico com dimensões internas de 200mm x 200mm x 30mm e conduzidos para uma prensa Hidropneumática da marca Nowak com capacidade de força de 30 toneladas, aplicada uma carga de 1 tonelada. Depois de 15 minutos, o material foi retirado do molde. Todo o processo foi realizado em temperatura ambiente (28°C). Após a cura, por 7 dias, os compósitos foram cortados e submetidos aos ensaios de propriedades físicas, mecânicas, morfológica e teste de biodegradabilidade. A Figura 1 apresenta os corpos de prova produzidos com os dois tamanhos de fibra e as três concentrações de resina, feitas na chapa metálica.

Figura 1. Material compósito cortado



Obs.: Material compósito cortado: (a) (b) (c) 10%, 15%, 20% e tamanho de $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$; (d) (e) (f) 10%, 15%, 20% e tamanho de $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$.

2.3 Propriedades Físicas

Os ensaios físicos foram realizados conforme NBR 14810-2:2018, com dimensões de 50 x 50 mm, sendo 10 corpos de prova de cada tratamento retirados aleatoriamente das chapas de cada combinação. A umidade foi realizada através de uma balança semianalítica com resolução de 0,01 g e anotados os dados de massa úmida. As amostras foram inseridas em estufa a $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 6 horas. Após o esfriamento foram pesados individualmente, obtendo a massa seca. No ensaio de densidade foram medidas as dimensões dos corpos de prova (espessura, largura e comprimento) com o uso de paquímetro de resolução de 0,01 mm. Com base nas dimensões, calculou-se os volumes dos corpos de prova e, posteriormente, determinou-se as respectivas massas utilizando uma balança analítica com resolução de 0,01 g. O ensaio de inchamento por 24h foi medido a espessura de cada corpo de prova e colocados em um recipiente preenchido com água destilada. Após 24 horas de imersão, foram retirados do recipiente e removido o excesso de água com um papel. Em sequência, foram medidos novamente a espessura dos corpos de prova e anotados os respectivos valores.

2.4 Propriedades Mecânicas

Os ensaios mecânicos foram realizados conforme NBR 14810-2:2018, com dimensões de 50 x 50 mm, sendo 10 corpos de prova de cada tratamento retirados aleatoriamente das chapas de cada combinação. No ensaio de flexão e módulo de elasticidade foi realizado utilizando um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, foram medidas as espessuras dos corpos de prova individualmente. As extremidades do corpo de prova foram colocadas sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios (EMIC DL 3000), de modo que o dispositivo aplicou a carga sobre o



centro do corpo de prova. Após a ruptura, foram registradas, a carga no limite proporcional e o valor da força de ruptura. O ensaio de compressão longitudinal foi determinado utilizando um paquímetro digital, foram medidas as espessuras e larguras corpos de prova individualmente. Após as medições os corpos de prova foram colocados em dispositivos de metal e posicionados entre as garras da máquina universal de ensaios. Com tempo médio de ruptura de 60 segundos, à carga máxima foi registrada.

2.5 Teste de Biodegradabilidade

O ensaio de biodegradação por perda de massa foi realizado conforme a norma ASTM G 160-03. Primeiramente, foi adicionado em uma bacia de plástico 2 kg de esterco de cavalo seco, 2 kg de areia grossa, 2 kg de solo fértil e 1 litro de água, foram misturados manualmente. O material foi coberto em papel filme e armazenado por 90 dias para maturação. Foram pesadas as amostras na balança semianalítica e enterradas 12 amostras de cada tamanho $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ e $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$, na proporção de 20% de resina. Foram avaliadas no período de 30, 60 e 90 dias, sendo retirado 4 amostras a cada mês. Depois de retirar as amostras do solo, passou-se um pincel com água destilada nas superfícies do material compósito para a retirada do solo que ficou agrupado, levou-se a estufa com temperatura de 110°C durante 4 horas e posteriormente foram pesadas.

2.6 Propriedades Morfológicas

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizado no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução, na Universidade Federal de Goiânia - UFG. Foram utilizadas amostras com dimensões de 2 cm x 2 cm, coladas no *stub* (peça metálica). As amostras foram colocadas no equipamento *sputter* para realizar o teste de *vacum*, passando uma película de ouro e colocadas no equipamento de MEV, onde a imagem é formada ponto a ponto a partir da interação do feixe de elétrons com a amostra metalizada.

2.7 Análise Estatística

Para o tratamento dos dados, os valores encontrados nos ensaios físicos e mecânicos, foram comparados estatisticamente entre si. Foi aplicado o Experimento Fatorial em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para cada combinação mediante a análise de variância e teste Scott-knott a 5% de significância, empregando-se o *Software Sisvar* versão 5.7, obtendo-se às médias de cada tratamento. A Análise de Variância (ANOVA) foi usada para estabelecer a significância de quaisquer diferenças observadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio Físicos

As médias das propriedades físicas dos materiais compósitos nos ensaios de densidade, umidade e inchamento, feitos com dois tamanhos de fibra e com 10, 15 e 20% de poliuretano (PU), como apresentado na Tabela 2.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.5467>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Tabela 2. Propriedades físicas formado por PU e fibras de palha de Cana

PU (%)	Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)			Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		
	Umidade (%)	Densidade (kg/m ³)	Inchamento (%)	Umidade (%)	Densidade (kg/m ³)	Inchamento (%)
10	0,86 ± 0,01 a	435,79 ± 0,11 a	6,57 ± 0,07 a	0,84 ± 0,03 a	365,79 ± 0,11 a	8,72 ± 0,09 a
15	0,94 ± 0,01 b	441,33 ± 0,09 b	3,67 ± 0,11 b	0,89 ± 0,03 b	367,41 ± 0,09 b	4,59 ± 0,05 b
20	0,94 ± 0,03 b	446,22 ± 0,13 c	1,41 ± 0,11 c	0,87 ± 0,05 b	368,22 ± 0,13 c	2,77 ± 0,07 c

Obs.: As médias seguidas de mesma letra nas colunas pertencem a um mesmo grupo e médias seguidas de letra diferente nas colunas se diferem estatisticamente entre si, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância.

± desvio padrão

A partir dos resultados obtidos no ensaio de umidade (Tabela 2) dos materiais compósitos, observa-se que o compósito de menor fibra nas concentrações de 15 e 20% absorveram mais umidade, assim quando submetido à estufa, este apresentou menor índice de perda de umidade, ou seja, quanto maior o percentual de resina ao compósito, maior foi a umidade, uma vez que as partículas da fibra são menores, evaporando menos umidade. Marinho *et al.*, (2013) produzir compósitos reforçado com partículas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e com resina derivado de óleo de mamona, obteve uma umidade de 8,8%. O envelhecimento em umidade é amplamente reconhecido como uma das principais causas de falha a longo prazo de uma matriz orgânica exposta à atmosfera; ou em contato com um meio aquoso. Além disso, também causa efeitos indesejáveis às propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos compósitos (Santos *et al.*, 2009).

Por meio dos resultados de densidade (Tabela 2) dos materiais compósitos, é possível afirmar que compósito de menor fibra na concentração 20% de resina possui maior densidade com 446,22 kg/m³, estando relacionado o peso e volume da amostra, assim, o manuseio de colocar as fibras na fôrma, a falta de homogeneidade na distribuição das partículas, resulta um maior volume no processo de obtenção das amostras. Valores semelhantes foram obtidos por Fiorelli, Bueno, e Cabral (2019), que avaliaram o compósito de resina poliuretano de mamona reforçado com fibras de côco verde, bagaço de cana-de-açúcar e obtiveram painéis com densidade de 530 kg/m³. Silva *et al.*, (2013) avaliou a produção de painéis confeccionados com fibras de madeira Pinus e de Eucalyptus e resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona, obteve uma densidade de 500 kg/m³. Bertolini *et al.*, (2014) produziu painéis provenientes de pinus sp. tratado com sais de cromo, cobre e arsênio e resina poliuretana à base de mamona, obteve uma densidade de 760 kg/m³. A densidade é uma propriedade relevante para determinação da resistência dos materiais em geral, na fibra pode variar de acordo com a espécie, idade e região do colmo (Marinho *et al.*, 2013).

Os resultados de inchamento (Tabela 2) dos materiais compósitos, observa-se que o compósito de maior fibra na concentração de resina de 10% obteve maior inchamento com valor de 8,72 %, atendendo aos requisitos especificados de acordo com a NBR 14810-2:2018, onde preconiza um valor máximo de 22%. Silva *et al.*, (2013) obteve um inchamento de 11,32%. Já Fiorelli, Bueno, e Cabral (2019) alcançou um inchamento com valor de 13,83%. Devido à quantidade de resina ser inferior e as partículas de fibras maiores, facilita a entrada d'água destilada percorrendo entre os poros do material compósito, desta forma, o material absorve mais



água e apresenta uma maior alteração em sua espessura. Contudo, a umidade e diferentes tamanhos de fibras contribui para o inchamento do material compósito.

3.2 Ensaio Mecânicos

A Tabela 3 apresenta as médias dos materiais compósitos no ensaio de flexão, elasticidade e compressão, feitos com dois tamanhos de fibra e com 10, 15 e 20% de poliuretano (PU).

Tabela 3. Propriedades mecânicas formado por PU e partículas de palha

PU (%)	Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)			Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		
	Elasticidade (N/mm ²)	Flexão (N/mm ²)	Compressão (N/mm ²)	Elasticidade (N/mm ²)	Flexão (N/mm ²)	Compressão (N/mm ²)
10	203,68 ± 0,06 a	0,19 ± 0,01 a	0,28 ± 0,04 a	205,04 ± 0,11 a	0,96 ± 0,03 a	0,83 ± 0,08 a
15	206,45 ± 0,09 b	1,70 ± 0,06 b	0,92 ± 0,04 b	207,47 ± 0,08 b	2,55 ± 0,05 b	1,56 ± 0,04 b
20	211,32 ± 0,07 c	3,69 ± 0,03 c	2,98 ± 0,06 c	209,88 ± 0,09 b	2,88 ± 0,05 c	2,26 ± 0,05 c

Obs.: As médias seguidas de mesma letra nas colunas pertencem a um mesmo grupo e médias seguidas de letra diferente nas colunas se diferem estatisticamente entre si, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância.

± desvio padrão

Por meio dos resultados de elasticidade (Tabela 3) dos materiais compósitos, é possível afirmar que compósito de menor fibra na concentração 20% de resina possui maior elasticidade com 211,32 N/mm². O estudo de Sánchez, Capote, e Carrillo, (2019) obteve a elasticidade máxima com valor de 203,01 N/mm², ou seja, um valor com pouca variação ao presente estudo. Assim, os fatores estão relacionados ao percentual de resina no compósito, o método de preparação do compósito, o tratamento das fibras e o tempo de cura.

Os resultados de flexão (Tabela 3) dos materiais compósitos mostraram-se que, o compósito de maior fibra nas concentrações de resina à 10 e 15%, obteve maior resistência à flexão, comparado com a fibra menor; e a fibra menor na concentração de resina à 20% obteve maior resistência à flexão, com um valor máximo de 3,69 N/mm². Verificou-se que quanto maior o percentual de resina ao compósito maior foi sua resistência, entretanto, a fibra menor agregou mais resina, por ser uma área de superfície menor obteve mais ligação entre as partículas. Valores aproximados foram encontrados por Wechsler *et al.*, (2013), que produziu materiais compósitos utilizando a casca de macadâmia e resina à base do óleo de mamona, obteve uma flexão de 4,3 MPa. Fiorelli, Bueno, e Cabral (2019) obteve a flexão máxima com valor de 5,89 N/mm². Zau *et al.*, (2014) avaliou painéis com resíduos de madeira cumaru e resina poliuretana derivada do óleo da mamona, obteve uma flexão de 14,3 MPa. Entretanto, os valores obtidos estão relacionados a quantidade e composição de fibra, a mistura dos materiais, o aquecimento na prensagem e o tratamento das fibras.

A partir dos resultados obtidos no ensaio de compressão (Tabela 3), observa-se que o compósito de maior fibra nas concentrações de resina à 10 e 15%, obteve maior resistência à compressão, comparado com a fibra menor; e a fibra menor na concentração de resina à 20% obteve maior resistência à compressão, com um valor máximo de 2,98 N/mm², quanto maior foi o percentual de resina utilizado no compósito maior foi a resistência, estando relacionado o método de preparação do compósito e a carga aplicada na compactação.



Quando analisamos separadamente os ensaios de flexão, compressão e elasticidade em relação aos dois tamanhos de fibras e as três porcentagens de resina, observa-se que o tamanho $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ nas concentrações de 10 e 15% de resina são mais resistentes, comparado com o compósito de menor fibra. Já nas concentrações de 20% de resina, o compósito mais resistente foi o tamanho $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$, isso mostra que a maior quantidade de resina apresentou um ajuntamento construtivo no compósito de menor tamanho de fibra, onde as partículas tiveram maior agregação, tornando o material mais rígido.

Considerando os materiais compósitos feito de fibras sintéticas, Batu & Lemu, (2020) desenvolveu materiais compostos híbridos reforçados com fibra de banana e fibra de vidro e matriz de resina epóxi, onde alcançou uma flexão média de 201,36 MPa, compressão de 47,36 MPa e módulo de elasticidade de 916,24 MPa. Silva *et al.*, (2020) estudou as propriedades mecânicas de um compósito reforçado com fibra de carbono e aramida e com matriz de resina epóxi, utilizou dois ângulos de fibras 45° e 90° e sem pós-cura e com pós-cura, obteve uma tensão mínima de flexão de 272,44 MPa e máxima de 531,33 MPa.

Constatou-se que, o compósito de fibras sintéticas possui uma resistência bem mais elevada, porém, oferece um custo mais alto comparado com os compósitos de fibras naturais. Segundo Ventura, (2009) as propriedades dos compósitos de matriz polimérica podem variar largamente dependendo dos tipos de matrizes e reforços utilizados e das várias combinações. As suas principais desvantagens residem na impossibilidade de trabalho a altas temperaturas, a instabilidade dimensional devido aos elevados coeficientes de expansão térmica, a sensibilidade à radiação e, em alguns casos, a absorção da umidade ambiente.

3.3 Biodegradação

A norma ASTM G 160-03 preconiza que a umidade do solo deve estar entre 20 e 30%, e o pH entre 6,5 e 7,5. A umidade do solo calculada apresentou um valor de 21,4% e o pH de 7,35 ambos compatíveis com a norma. A Tabela 4 apresenta os resultados dos materiais compósitos no ensaio de biodegradação, feitos com dois tamanhos de fibra e 10, 15 e 20% de PU.

Tabela 4. Biodegradação dos Materiais Compósitos

Tempo (mês)	Tamanho ($0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$)	Tamanho ($4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$)
	Média (g)	Média (g)
1	$2,49 \pm 0,30$	$3,16 \pm 0,84$
2	$3,05 \pm 0,63$	$4,26 \pm 0,94$
3	$3,99 \pm 0,84$	$4,73 \pm 0,37$

A partir dos resultados do ensaio de biodegradabilidade (Tabela 4) dos materiais compósitos, observa-se que no segundo mês que houve uma diferença significativa de perda de massa do compósito, onde o tamanho $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ perdeu mais peso comparado com o tamanho de $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$. Entende-se que este fator ocorreu devido a compactação entre as fibras, onde a maior fibra acelerou a biodegradação subsequente no solo, sendo menos resistente ao ataque de fungos, apresentando assim maior perda de massa. Sun *et al.* (2019) afirma que durante o processo de degradação, o número de bactérias e fungos na superfície pode aumentar, indicando que bactérias e fungos se acumularam seletivamente na superfície dos compósitos acelerando sua degradação. Conforme Calegari & Oliveira, (2016), as vantagens desses compósitos residem no fato de que são provenientes de recursos renováveis, podem degradar-se no meio ambiente em um período menor em relação aos materiais de fibras sintéticas.



3.4 Ensaios Morfológico

As superfícies dos corpos de provas fraturados nos ensaios de flexão foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, observando as características da microestrutura dos compósitos, disposição da fibra na matriz e interface fibra/matriz. A Figura 2 mostra a MEV do material compósito, contendo 15% de resina. Na Figura 1a, observa-se que houve uma boa transferência de tensão entre fibra e matriz antes de ocorrer a fissura, as fibras foram rompidas por sobrecarga. Na Figura 2b, como pode ser observado, houve uma pequena fissura e descolagem nas fibras, o que indica o modo de falha de rompimento da fibra. Esse comprometimento é o responsável pela perda de resistência.

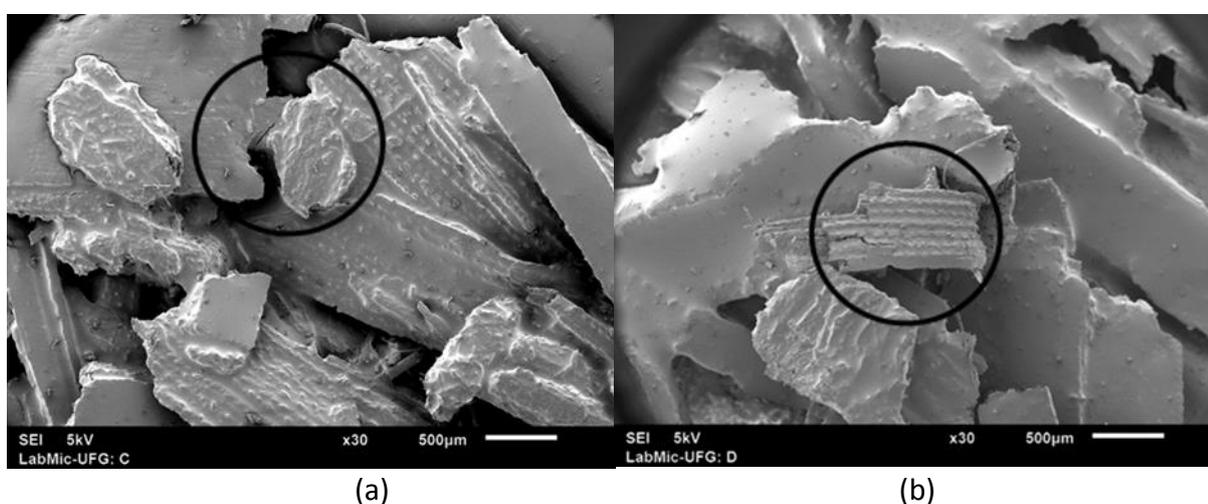
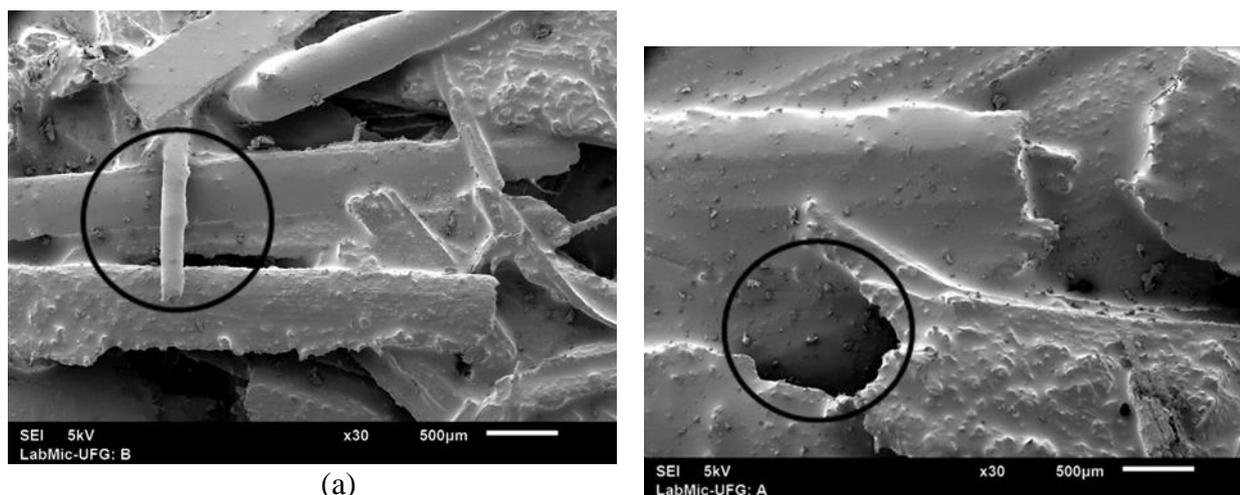


Figura 2. Micrografias por MEV do material compósito 15% de PU: (a) tamanho de $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$; (b) tamanho de $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$.

A Figura 3 mostra a MEV do material compósito, contendo 20% de resina. Na Figura 2a, as fibras estão bem embutidas na matriz e as pontas das fibras não exibem danos, estando totalmente cobertas pela matriz. Na Figura 3b, observa-se que a matriz de resina cobriu toda a fibra, havendo um espaço de vazio, devido o deslocamento da fibra na aplicação da carga no ensaio de flexão, diminuindo assim as propriedades mecânicas. Embora a homogeneização na distribuição e manuseio da fibra/matriz contribuem para um melhor desempenho físico-mecânico.



(a)

Figura 3. Micrografias por MEV do material compósito 20% de PU: (a) tamanho de $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$; (b) tamanho de $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$

4. CONCLUSÃO

Os materiais compósitos produzidos da palha de cana-de-açúcar e resina à base do óleo de mamona apresentaram diferentes propriedades. Com base nos ensaios físicos, apresentou maior inchamento o compósito de maior fibra à 10% de resina, uma vez que o material não é resistente a umidade. Os ensaios mecânicos, obteve melhor desempenho o compósito da fibra menor com 20% de resina nos ensaios de flexão e compressão, tais resultados mostraram que o compósito de poliuretano natural pode ser competitivo no mercado. As análises do ensaio morfológico exibiram ampla interação na interface entre matriz/reforço, onde houve o deslocamento das fibras no momento da perda de resistência. O ensaio de biodegradação mostra que no segundo mês houve uma redução no peso dos materiais compósitos, onde devem ser analisados por um período maior para averiguar maiores perdas futuras. Pela análise de variância, constatou-se que os melhores valores das propriedades físico-mecânicas foram provenientes dos materiais feitos com o tamanho $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ e na maior concentração de resina, onde os compósitos obtidos forneceram resultados diferentes nos ensaios realizados, diferindo estatisticamente entre si. Dessa forma, o compósito pode ser utilizado na fabricação de mesas, cadeiras e paredes para uso comercial e industrial. Mesmo sendo satisfatórios os resultados obtidos nas propriedades físicas e mecânicas, novas composições para as misturas e um tratamento com as fibras devem ser investigadas com o objetivo de elevar a resistência físico-mecânica dos compósitos, contribuindo por incentivar a produção de painéis utilizando a palha da cana-de-açúcar e resina poliuretana derivada do óleo de mamona. Além disso, possuem a vantagem de serem desenvolvidas a partir de fontes renováveis, de suma importância científica e tecnológica para obtenção de novos materiais utilizados na engenharia.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, à Empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, Aguaí - São Paulo, fornecedora da Resina de Mamona. Ao Laboratório de Materiais Compósitos – LMC, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas-TO, que possibilitou a confecção dos painéis.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-2:2018 – Painéis de partículas de média densidade - parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-3:2002 – Chapas de madeira aglomerada - parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002. 32 p.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2004). Standard practice for Evaluating Microbial Susceptibility of Nonmetallic Materials G-160-03. By Laboratory Soil Burial, 14(4).

BARROS, J. A.S., KRAUSE, M. C.; LAZZARI, E., BJERK, T. R., AMARAL, A. L., CARAMÃO, E. B., & KRAUSE, L. C. (2018). Chromatographic characterization of bio-oils from fast pyrolysis of sugar cane residues (straw and bagasse) from four genotypes of the Saccharum Complex. **Elsevier BV**, 137, 30-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2017.09.015>.

BATU, T., & LEMU, H. G. (2020). Investigation of mechanical properties of false banana/glass fiber reinforced hybrid composite materials. **Results In Materials**, 8, 1-6. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rinma.2020.100152>.

BERTOLINI, M. S., NASCIMENTO, M. F., CHRISTOFORO, A. L., & LAHR, F. A. R. (2014). Painéis de partículas provenientes de rejeitos de Pinus sp. tratado com preservante cca e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**, 38, 339-346. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622014000200014>.

CALEGARI, E. P., & OLIVEIRA, B. F de. (2016). Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. **Sustentabilidade em Debate**, 7, 140-155. DOI: 10.18472/SustDeb.v7n1.2016.17623.

FIORELLI, J., BUENO, S. B., & CABRAL, M. R. (2019). Assessment of multilayer particleboards produced with green coconut and sugarcane bagasse fibers. **Construction And Building Materials**, Elsevier BV, 205, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.024>.

KOHLHEPP, G. (2010). Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, 24 (68), 223-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142010000100017>.

MARINHO, N. P., NASCIMENTO, E. M., NISGOSKI, S., MAGALHÃES, W. L. E., NETO, S. C., & AZEVEDO, E. C. (2013). Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.5467>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros**, 23 (2), 201-205. DOI: <https://doi.org/10.4322/S0104-14282013005000007>.

MISRA, M., PANDEY, J. K., & MOHANTY, A. K. (2015). Biocomposites: Design and Mechanical Performance. 1ª ed. Elsevier Science, Oxford. **Woodhead Publishing Series em Ciência e Engenharia de Compósitos** (p. 1-15).

MORAES, J. C. B., MELGES, J. L. P., AKASAKI, J. L., TASHIMA, M. M., SORIANO, L., MONZÓ, J., BORRACHERO, M. V., & PAYÁ, J. (2016). Pozzolanitic Reactivity Studies on a Biomass-Derived Waste from Sugar Cane Production: Sugar Cane Straw Ash (SCSA). **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, 4 (8), 4273-4279. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00770>.

OLIVEIRA, A. P. P., LIMA, E., ANJOS, L. H. C., ZONTA, E., & PEREIRA, M. G. (2014). Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18 (9), 939-947. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p939-947>.

RODRIGUES, J., SOUZA, J. A., FUJIYAMA, R. (2015). Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. **Revista Matéria**, 20 (4), 946-960. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620150004.0099>.

SÁNCHEZ, M. L., CAPOTE, G., & CARRILLO, J. (2019). Composites reinforced with Guadua fibers: Physical and mechanical properties. **Construction And Building Materials**. Elsevier BV, 228, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116749>.

SANJAY M. R., MADHU P., JAWAID, M., SENTHAMARA KANNAN, P., SENTHIL, S., & PRADEEP, S. (2018). Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. **Elsevier BV**, 172, 566-581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>.

SANTOS, F. A., QUEIRÓZ, J. H., COLODETTE, J. L., FERNANDES, S. A., GUIMARÃES, V. M., & REZENDE, S. T. (2012). Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, 35(5), 1004-1010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000500025>.

SANTOS, P. A., SPINACÉ, M. A. S., FERMOSELLI, K. K. G., & PAOLI, M. A. DE. (2009). Efeito da forma de processamento e do tratamento da fibra de curauá nas propriedades de compósitos com poliamida-6. **Polímeros**, (SciELO). 19, 31-39. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282009000100010>.

SILVA, M., SPINELLI, L. F., OLIVEIRA, L. C., & TAGLIARI, L. D. (2020). Propriedades mecânicas de um compósito de fibra de carbono e aramida considerando diferentes condições de fabricação. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 12, p. 116-127, 2020.

SILVA, M., SPINELLI, L. F., OLIVEIRA, L. C., & TAGLIARI, L. D. (2020). Propriedades mecânicas de um compósito de fibra de carbono e aramida considerando diferentes condições de fabricação. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 12, p. 116-127, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.5467>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

SILVA, S. A. M. DA, CHRISTOFORO, A. L., PANZERA, T. H., & LAHR, F. A. R. (2013). Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Vértices**, 15, 7-20. DOI: 10.5935/1809-2667.20130002.

SUN, E., LIAO, G., ZHANG, Q., QU, P., WU, G., & HUANG, H. (2019). Biodegradable copolymer-based composites made from straw fiber for biocomposite flowerpots application. **Composites Part B: Engineering**, Elsevier BV, 165, 193-198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.121>.

VASILIEV, V. V., & MOROZOV, E. V. (2018). Introduction. *Advanced Mechanics Of Composite Materials And Structures*, Elsevier (p.17-25).

VENTURA, A. M. F. M. (2009). Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, 21, 10-19.

WECHSLER, A., ZAHARIA, M., CROSKY, A., JONES, H., RAMÍREZ, M., BALLERINI, A., NUÑEZ, M., & SAHAJWALLA, V. (2013). Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Rícinos communis*) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard. **Materials & Design**, Elsevier BV, 50, 117-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.008>.

ZAU, M. D. L.; VASCONCELOS, R. P. DE; GIACON, V, M., & LAHR, F. A. R. (2014). Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia - Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, 24, 726-732. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1594>

