



DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE EPÓXI COM FIBRAS NATURAIS DE JUTA HIBRIDIZADAS COM FIBRAS SINTÉTICAS: ANÁLISE MECÂNICA E APLICAÇÃO EM PRODUTO

MARIA NATÁLIA CASTANHO – nataliacastanho92@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR - SOROCABA

STEFANY TAKAHASHI - stefanytakahashi@estudante.ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR - SOROCABA

VITÓRIA EPIPHANIO GONÇALVES - vitoria.goncalves@estudante.ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR – SOROCABA

CARLOS E. CORNEJO NASCIMENTO - carlos.cornejo@estudante.ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR - SOROCABA

JANE MARIA FAULSTICH DE PAIVA- jane@ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR - SOROCABA

ÁREA: 05 - ENGENHARIA DO PRODUTO

SUBÁREA: 5.2 - PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

RESUMO: ESTE TRABALHO ENVOLVEU O DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE RESINA EPÓXI REFORÇADO COM FIBRAS NATURAIS DE JUTA HIBRIDIZADAS COM FIBRAS DE VIDRO E POLIARAMIDA, AVALIANDO SUA RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO E APLICABILIDADE EM UM PRODUTO FINAL. FOI UTILIZADO O PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE RESINA (RTM), PARA A PRODUÇÃO DO COMPÓSITO. OS REFORÇOS DE FIBRAS FORAM ORGANIZADOS EM ESTRUTURA DO TIPO SANDUÍCHE, ENVOLVENDO CAMADAS DE TECIDO DE FIBRAS DE JUTA, MANTA DE FIBRAS DE VIDRO E TECIDO DE POLIARAMIDA. APÓS A MOLDAGEM, OS CORPOS DE PROVA DO COMPÓSITO FORAM SUBMETIDOS AO ENSAIO DE FLEXÃO, CONFORME A NORMA ASTM D790. OS RESULTADOS MOSTRARAM QUE A COMBINAÇÃO DAS FIBRAS PROPORCIONOU UM DESEMPENHO MECÂNICO COM MÓDULO E RESISTÊNCIA À FLEXÃO SUPERIORES AOS DE COMPÓSITOS CONTENDO TECIDOS DE FIBRAS DE JUTA E DE VIDRO. A APLICAÇÃO PRÁTICA FOI DEMONSTRADA PELA MOLDAGEM DE UM PRODUTO SIMPLES, COM DESIGN FUNCIONAL. CONCLUIU-SE QUE A HIBRIDIZAÇÃO DAS FIBRAS NA MATRIZ EPÓXI RESULTA EM COMPÓSITOS PROMISSORES PARA APLICAÇÕES ALIANDO SUSTENTABILIDADE, DESEMPENHO E VERSATILIDADE.

PALAVRAS-CHAVES: RESINA EPÓXI; JUTA; FIBRAS DE VIDRO; POLIARAMIDA; FLEXÃO; PRODUTO.

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As resinas epóxis são polímeros termorrígidos que se destacam pelos altos valores de propriedades mecânicas, rigidez, além de durabilidade e resistência a altas temperaturas (DODIUK E GOODMAN, 2014). Estas resinas podem ser utilizadas em diversos setores, principalmente, na moldagem de compósitos aplicáveis nas indústrias aeronáutica, aeroespacial, de aerogeradores e eletrônicos. Devido à alta demanda do mercado, o consumo desses polímeros tem aumentado continuamente nos últimos anos. No ano de 2024, a resina epóxi teve uma demanda global de cerca de US\$ 14 bilhões (PRECEDENCE RESEARCH, 2025).

A crescente demanda por novos materiais impulsionou o avanço da tecnologia de compósitos, principalmente, de matriz epóxi reforçada com fibras de vidro, devido à sua elevada resistência mecânica, leveza e resistência à corrosão, sendo amplamente utilizados em aplicações de engenharia estrutural, como cascos de embarcações, pás eólicas, trens e painéis de aeronaves (SELVADURAI; SIVARAJ; RAO, 2023).

O compósito de polímero reforçado com fibras de vidro (*fiberglass*), geralmente, apresenta resistência à corrosão, grande disponibilidade no comércio, custo inferior às fibras de carbono e ao de materiais como ligas especiais e aço inoxidável. Além disso, possui propriedades mecânicas adequadas para aplicações estruturais, alta resistência química a ambientes agressivos, flexibilidade de *design*, permitindo a construção de peças complexas e sem emendas (JAIN et al., 2022; RISSON et al., 1998).

Embora os polímeros e reforços de fibras de vidro ou de outros derivados sintéticos tenham historicamente contribuído para o avanço tecnológico, o aumento do uso contínuo trouxe preocupações ambientais. A maioria desses materiais apresenta baixa reciclabilidade, alta persistência na natureza e origem não renovável. Nesse cenário, ressalta-se o crescente interesse pelo uso de fibras vegetais lignocelulósicas, como juta, sisal, coco, curauá, entre outras, para reforço de compósitos poliméricos. Essas fibras se destacam pelo baixo custo, densidade reduzida em comparação às fibras de vidro e características como renovabilidade, biodegradabilidade e menor abrasividade aos equipamentos de moldagem (PIRES et al. 2012; SANTOS et al., 2024; YEO, KIM E HWANG, 2016). Dentre elas, as fibras de juta são interessantes devido ao custo acessível e fácil disponibilidade em alguns países como o Brasil (IQBAL et al., 2025; SARKAR; RAY, 2024).

Apesar das vantagens dos compósitos reforçados com fibras vegetais, como

sustentabilidade e baixo custo, geralmente apresentam menores valores de propriedades mecânicas e maior absorção de umidade em comparação aos reforçados com fibras sintéticas. Para mitigar essas limitações, a combinação de fibras vegetais com fibras mais resistentes, como as de vidro e poliaramida, pode melhorar o desempenho mecânico e equilibrar vantagens e desvantagens, já que esses diversos tipos de fibras complementam as limitações umas das outras (THWE E LIAO, 2002) na obtenção de compósito do tipo híbrido, também denominado de “sanduíche”.

A fibra de vidro é uma escolha interessante para hibridização devido à sua relação favorável entre custo e desempenho mecânico (FERNANDES et al., 2022; RAJAK; WAGH; LINUL, 2021). Além disso, ela funciona como uma barreira química eficaz, prevenindo o contato entre as fibras naturais, que são hidrofílicas, e a água, contribuindo para maior durabilidade dos compósitos híbridos (RAJAK et al., 2021; SILVA et al., 2008).

As fibras de poliaramida se destacam por serem até cinco vezes mais resistentes que o aço. Essas fibras revolucionaram a área militar devido às suas altas propriedades de resistência à tração, alto valor do módulo de elasticidade e baixo peso específico. Embora sejam bem conhecidas na indústria de segurança, na fabricação de coletes à prova de balas, blindagens automotivas e luvas de proteção contra cortes, as fibras de poliaramida também encontram aplicações em diversas outras áreas (GUIDUGLI; BOTEZINI; GONÇALVES, 2023; ZHANG et al., 2024).

Estudos como os de Atmakuri et al. (2022) indicam que as hibridizações em compósitos, geralmente, contribuem para a mitigação de problemas de algumas matrizes poliméricas, como baixa valor de resistência, promovendo melhores desempenhos mecânicos.

Dentre os diversos métodos para a moldagem de compósitos poliméricos com uso de resinas do tipo termorrígidas, pode-se destacar a moldagem por transferência de resina (*Resin Transfer Moulding* - RTM), utilizada no presente trabalho. O processo de RTM apresenta diversas vantagens, como processamento sem a necessidade de pré-impregnados (*prepregs*), menor custo de materiais e moldes, bom acabamento superficial e possibilidade de produção de estruturas simples até complexas (CAUSON et al., 2024; FERNANDES et al., 2022; KRUCKENBERG, 1998).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo geral, o desenvolvimento de um compósito de matriz polimérica de resina epóxi, reforçada com tecido natural de fibras de juta, hibridizadas com manta de fibras de vidro e tecido de poliaramida, pelo processo de RTM. Em relação aos objetivos específicos, o trabalho envolveu a determinação das

propriedades mecânicas de flexão do compósito moldado e a utilização deste na manufatura de um produto, para demonstrar a viabilidade de moldagem e aplicação do compósito desenvolvido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A resina epóxi do tipo DGEBA (diglicidil éter do bisfenol-A), comercial Epikote, fabricada pela Hexion, foi utilizada como matriz polimérica para a moldagem dos compósitos. Para a polimerização da resina foi utilizado 35% (m/m) de agente de cura do tipo amina alifática. Como fases de reforços foram utilizados: tecidos (trama: 1mmx1mm) de fibras de juta, manta do tipo costurada (biaxial, utilizada em fabricação de pás eólicas) e tecido de poliaramida, marca Maxepoxi, KK 205, com gramatura 200g/m² e 0,50mm de espessura.

2.2 Métodos

A moldagem do compósito foi realizada por transferência de resina (RTM) em um molde metálico (dimensões 40cmx40cmx1cm) contendo um tipo de borracha de vedação delimitando a área útil, na qual foi aplicado um desmoldante (a base de cera de carnaúba) e adicionadas as camadas na seguinte sequência: um tecido de fibras de juta, uma manta costurada de fibras de vidro, uma segunda camada de tecido de fibras de juta e, por fim, uma camada de tecido de poliaramida, como mostrado na figura 1. Na sequência, o molde foi fechado para a realização do processo de moldagem por RTM.

FIGURA 1 - Disposição das camadas de reforços no molde do tipo RTM.



Fonte: Elaboração dos autores.

Para a moldagem foi utilizada uma bomba de vácuo (marca *Sppencer scientific*) para a

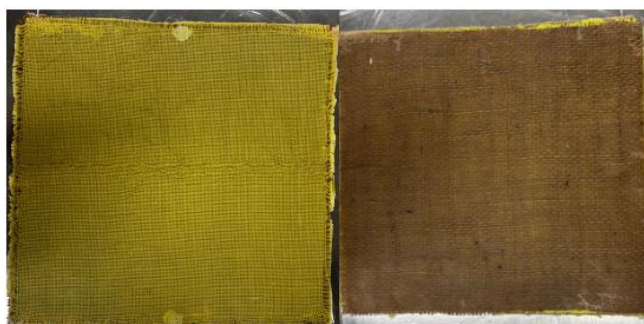
transferência da resina epóxi, já misturada com o agente de cura, para dentro do molde. Após esse processo, o molde foi mantido na posição horizontal durante o processo de polimerização. Depois de 24 horas, a placa foi desmoldada e foram cortados 12 corpos de prova (dimensões: 127,2mm de comprimento, 13,0 mm de largura e 3,8 mm de espessura) para a realização do ensaio mecânico de flexão, conforme a norma ASTM D790.

Como a realização deste trabalho teve como objetivo específico a aplicação do compósito desenvolvido em um produto, foi proposta a moldagem de um produto simples, no caso, um relógio de parede. Para isto, além da resina epóxi, agente de cura do tipo amina alifática e reforços utilizados na moldagem do compósito, foram necessários: um conjunto de motor de relógio e ponteiros, algumas peças para marcação do horário e acabamento externo, que foram impressas em PLA (poliácido láctico) em uma impressora 3D, e corante para resina. O molde recebeu o desmoldante e as camadas de reforço foram montadas na mesma sequência citada anteriormente. Após a cura da resina a peça foi desmoldada e lixada nas bordas, para encaixar o acabamento externo. Para inserção do motor do relógio e ponteiros, a peça moldada foi furada no centro, com auxílio de furadeira manual. As peças de marcações de horário e acabamento externo foram fixadas utilizando uma cola de cianoacrilato.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 está apresentada a placa moldada do compósito, mostrando as superfícies superior e inferior. Em regiões próximas às bordas do compósito moldado podem ser observados alguns locais com falta de adesão entre a matriz e os reforços, e alguns defeitos (Figura 2a) relacionados às localizações dos bicos de vácuo do molde metálico, como já esperado. Apesar de alguns defeitos, no geral, a placa moldada apresentou boa qualidade, superfície lisa e com baixa quantidade de bolhas na matriz de resina epóxi.

FIGURA 2 - Fotografia do compósito híbrido: (a) lado superior da placa; (b) lado oposto da placa do compósito moldado.



Fonte: Elaboração dos autores.

Na figura 3 estão mostrados os corpos de prova antes e após o ensaio de flexão, e na Tabela 1 estão apresentados os resultados dos valores médios e respectivos desvios-padrão correspondentes à resistência à flexão (MPa), à deformação máxima (mm) e módulo de elasticidade (MPa) de cada corpo de prova ensaiado.

FIGURA 3 - Corpos de prova antes e após o ensaio de flexão.



Fonte: Elaboração dos autores.

O compósito desenvolvido apresentou propriedades mecânicas consideravelmente superiores à matriz polimérica de epóxi sem reforço, pois conforme dados da literatura (TUREL et al., 2023; ZHOU; LI; WANG, 2020), a resistência à flexão da matriz epóxi sem reforço pode variar entre 60 a 100 MPa, e o módulo de elasticidades entre 2000 e 2500 MPa (2,0 a 2,5 GPa), com variações atribuídas ao subtipo de resina epóxi e aos parâmetros de cura utilizados. Neste trabalho (Tabela 1), os valores médios do compósito desenvolvido foram de $202,2 \pm 20,49$ MPa para a resistência máxima em flexão, e de $6308,10 \pm 303,40$ MPa para o módulo de elasticidade em flexão. A significativa melhora das propriedades mecânicas está relacionada às camadas de reforço de tecidos de fibras de juta e de poliaramida e da manta costurada de fibras de vidro adicionadas neste tipo de compósito hibridizado.

Santos et al. (2024), desenvolveram compósitos de resina epóxi e reforço de manta de fibras de vidro e tecido de juta, com diferentes ordens de disposição dos tecidos, com de 3 a 4 camadas de reforço, e obteve valores de resistência à flexão entre 65,8 e 118,3 MPa, e módulo de elasticidade entre 625,3 e 5821,0 MPa. A melhora significativa na resistência à flexão observada nos compósitos desenvolvidos neste trabalho (Tabela 1) é atribuída à incorporação do tecido de poliaramida, cuja elevada resistência mecânica supera as propriedades dos tecidos de fibras de vidro e de juta, contribuindo para o aumento da rigidez e da capacidade de suportar esforços de flexão (HASSAN, 2023; SIGNETTI et al., 2021).

TABELA 1 – Valores das propriedades mecânicas dos corpos de prova ensaiados em flexão.

Corpo de prova	Resistência Máxima (MPa)	Deformação Máxima (mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
1	221,17	7,30	6688,29
2	222,43	7,39	6761,28
3	191,91	6,99	6005,13
4	211,04	8,00	6052,51
5	207,82	6,72	6527,42
6	209,99	7,80	6132,67
7	217,86	6,85	6620,72
8	182,22	6,23	5894,78
9	211,16	6,90	6372,90
10	196,18	6,12	6306,98
11	205,49	7,02	6406,46
12	149,27	4,89	5928,26
Média e desvio padrão	202,20 ± 20,49	6,85 ± 0,83	6308,10 ± 303,40

Fonte: Elaboração dos autores.

De acordo com Hong (2012) e Shen (2024), o processo de moldagem por transferência de resina (RTM) é uma técnica de fabricação de compósitos que combina baixo custo operacional com vantagens econômicas e ambientais. Permitindo a produção de peças com alta qualidade superficial e precisão dimensional, pois permite um controle eficiente do uso da resina, reduzindo desperdícios e baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (VOCs), contribuindo assim para processos mais sustentáveis e seguros. Além disso, a utilização de resinas de baixa viscosidade e a aplicação adequada de desmoldante facilitam o processo de moldagem e a desmoldagem do compósito, melhorando as propriedades mecânicas do produto confeccionado.

Na figura 4 está apresentado o produto manufaturado a partir da moldagem do compósito desenvolvido neste trabalho. A utilização de fibras naturais hibridizadas com fibras sintéticas neste produto, destaca um ponto importante na busca por materiais e produtos mais sustentáveis. As fibras sintéticas, como as de vidro e poliaramida, apresentam alta

performance mecânica, porém possuem maior impacto ambiental devido à sua origem não renovável e à não biodegradabilidade. Em contrapartida, as fibras naturais, como as duas camadas de tecido de fibras de juta utilizadas, oferecem uma alternativa interessante por serem de origem renovável, biodegradáveis e adicionalmente podem ser aproveitadas de resíduos agroindustriais. A combinação das fibras sintéticas com as naturais, através da hibridização realizada neste trabalho, tende a diminuir a pegada ambiental dos compósitos, possibilitando um equilíbrio entre a sustentabilidade e o desempenho do produto.

FIGURA 4: Relógio manufaturado com o compósito desenvolvido.



Fonte: Elaboração dos autores.

4. CONCLUSÕES

Os diferentes tipos de fibras, como juta, vidro e poliaramida, utilizadas como reforço em compósitos de resina epóxi, permitiu a moldagem de um compósito híbrido com qualidade e com adequadas propriedades mecânicas de flexão. Os corpos de prova testados evidenciaram valores médios de resistência máxima em flexão de 202,2 MPa e módulo de elasticidade em flexão de 6308,1 MPa, que são significativamente mais altos do que os de resina epóxi sem reforço. Isso comprova a eficácia da hibridização das fibras naturais de juta com as fibras sintéticas na melhoria do desempenho mecânico dos compósitos.

Assim, este trabalho demonstrou a importância da escolha adequada dos materiais e do processo de moldagem para garantir a qualidade do produto final. O processo de RTM mostrou-se eficiente para a moldagem do compósito híbrido, com boa distribuição da resina e bom acabamento superficial.

O desenvolvimento do produto, relógio de parede, foi uma aplicação imediata para o tipo de compósito híbrido moldado, demonstrando também a viabilidade de utilizar compósitos para a criação de objetos funcionais do cotidiano, combinando resistência

mecânica e apelo visual. Essa proposta prática reforçou a importância do planejamento e da execução detalhada de projetos que envolvem compósitos, além de demonstrar o potencial desses tipos de materiais para aplicações no *design* de produtos.

REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D790**: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.

ATMAKURI, A.; PALEVIČIUS, A.; VILKAUSKAS, A.; JANUSAS, G. **Numerical and experimental analysis of mechanical properties of natural-fiber-reinforced hybrid polymer composites and the effect on matrix material**. *Polymers*, v. 14, 2612, 2022.

CAUSON, M. E.; IGLESIAS, M. A.; MATVEEV, M. Y.; ENDRUWEIT, A.; TRETYAKOV, M. V. **Real-time Bayesian inversion in resin transfer moulding using neural surrogates**. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 185, 2024, p. 108355.

DODIUK, H.; GOODMAN, S. H. **Handbook of Thermoset Plastics**. 3. ed. Burlington: William Andrew (Plastics Design Library), 2013. ISBN 978-1-4557-3107-7.

FERNANDES, A. P.; PRADO, K. S.; CASTANHO, M. N.; PAIVA, J. M. F. **Preparation and Characterization of Polymeric Composites Assembled from Fiberglass Fabric Waste from the Wind Blades Manufacturing Process**. *Fibers and Polymers*, v.23, no.13, p.3606-3614, 2022.

GUIDUGLI, L. F. P. G.; BOTEZINI, A.; GONÇALVES, E. P. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos híbridos carbono/Kevlar® para aplicações em equipamentos de proteção individual**. *Revista Processos Químicos, Campinas*, v. 17, n. 34, p. 19-23, 2023.

HASSAN, M. F. bin; SULONG, A. B. B.; ABDAN, K. bt.; RADZUAN, N. A. M. **Flexural strength optimization for hybrid glass/jute fiber reinforced epoxy composite fabricated via vacuum infusion**. *Advances in Material Science and Engineering*. Singapore: Springer, 2023. p. 337–342.

HONG, L. **The research current situation & existence difficulty of the resin transfer molding process**. *Journal of Polymer Materials*, Beijing, v. 29, n. 6, p. 487–491, 2012.

IQBAL, R. M.; AHAMMAD, R.; ARIFUZZAMAN, M.; ISLAM, M. S.; ISLAM, M. M. **Manufacturing and properties of jute fiber-reinforced polymer composites — A comprehensive review**. *Materials*, v. 18, n. 5, p. 1016, 2025.

JAIN, K.; KUMAR, M.; SINGH, R. K. **A comprehensive review: characterization of glass fiber reinforced polymer composites with fillers from a thermo-mechanical perspective**. *Materials Today: Proceedings*, s.l., v. 56, p. 2500–2505, 2022.

KRUCKENBERG, T. M.; PATON, R. **Resin transfer moulding for aerospace structures**. London: Chapman & Hall, 1998.

PIRES, E. N.; MERLINI, C.; AL-QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O. **Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos*, v. 22, n. 4, p. 339–344, 2012.

PRECEDENCE RESEARCH. **Epoxy resin market size, share, report, analysis, trends 2024-2034.** Precedence Research, 2024.

RAJAK, D. K.; WAGH, P. H.; LINUL, E. **Manufacturing Technologies of Carbon/Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites and Their Properties: A Review.** *Polymers*, 13, art. 3721, 2021.

RISSON, P.; CARVALHO, G. A.; VIEIRA, S. L.; ZENI, M.; ZATTERA, A. J. **Reaproveitamento de resíduos de laminados de fibra de vidro na confecção de placas reforçadas de resina poliéster.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos*, v. 8, n. 3, p. 89–92, 1998.

SANTOS, S. P.; CASTANHO, M. N.; PADILLA, E. R. D.; PAIVA, J. M. F. **Desenvolvimento e análise de compósitos poliméricos alternativos reforçados com mantas de fibras de vidro e tecidos de fibras vegetais.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP. *Anais do XXXI Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)*. Bauru, 2024.

SARKAR, B.; RAY, S. **Critical review of natural fiber reinforced hybrid composites: processing, properties, applications and cost.** *Polymers, Basel*, v. 13, n. 20, art. 3514, 2024.

SELVADURAI, M.; SIVARAJ, P.; RAO, G. V. **Composite materials in marine and aerospace applications: a review on processing and performance.** *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 42, n. 5, p. 187–206, 2023.

SHEN, R.; LIU, T.; LIU, H.; ZOU, X.; GONG, Y.; GUO, H. **An enhanced vacuum-assisted resin transfer molding process and its pressure effect on resin infusion behavior and composite material performance.** *Polymers*, v. 16, n. 10, art. 1386, 2024.

SIGNETTI, S.; BOSIA, F.; RYU, S.; PUGNO, N. M. **A combined experimental/numerical study on the scaling of impact strength and toughness in composite laminates for ballistic applications.** *Composites Part B: Engineering*, v. 195, p. 108090, 2020.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. **Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética.** *Matéria, Rio de Janeiro*, v. 13, n. 1, p. 154–161, mar. 2008.

THWE, M. M.; LIAO, K. **Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites.** *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Oxford*, v. 33, p. 43–52, 2002.

TÜREL, B.; KESKİN, A.; ÖZDEMİR, M.; ÜNVER, H. **The influence of different curing agents on the mechanical and thermal properties of epoxy resins.** *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, v. 18, n. 3, e3494, 2023.

YEO, J.-S.; KIM, O. Y.; HWANG, S. H. **The effect of chemical surface treatment on the fracture toughness of microfibrillated cellulose reinforced epoxy composites.** Journal of Industrial & Engineering Chemistry, Kidlington, v. 45, p. 301–306, 2017.

ZHANG, Y.; LI, J.; WANG, H. **Aramid fibers: structure, properties, and applications.** Advanced Materials Technologies, v. 9, n. 4, 2024.

ZHOU, Y.; LI, X.; WANG, J. **Effects of curing process on mechanical properties of epoxy resin.** Polymers, v. 12, n. 4, art. 751, 2020.