ESTUDO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS REGIONAIS NA ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR: MANUFATURA DA MADEIRA PLÁSTICA E SEU DESEMPENHO DE PERFORMANCE

Autores: Rafaella Nogueira Freire[1], Rosinei Batista Ribeiro[2], Eduardo Norberto Codaro[3], Rhuan Fellipe Fernandes de Oliveira[4]

[1]Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Unidade de Guaratinguetá - SP, Avenida João Rodrigues Alckimim, 1501, 12517-475, Brasil, rafaella.freire@aluno.cps.sp.gov.br

[2]Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Coordenaria Geral de Pós-graduação, Extensão e Pesquisa, Rua dos Bandeirantes, 169, Bom Retiro, São Paulo, Brasil, rosinei.ribeiro@cps.sp.gov.br.

[3] Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / Química e energia, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Pedregulho, Guaratinguetá - SP, 12516-410, Brasil, eduardo.codaro@unesp.br.

[4] Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / Química e energia, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Pedregulho, Guaratinguetá - SP, 12516-410, Brasil, rhuan.fernandes@unesp.br.

Resumo
O estudo foi realizado em parceria com a comunidade terapêutica Fazenda Esperança®, em Guaratinguetá (SP), que utiliza a terapia laboral como ferramenta de reinserção social e tem na produção da madeira plástica uma de suas atividades institucionais. As amostras foram submetidas a períodos de exposição de 30, 60 e 90 dias em condições ambientais reais, permitindo avaliar aspectos superficiais, resistência mecânica e processos de degradação decorrentes das intempéries. Para compreender o processo produtivo, aplicou-se a ferramenta S.I.P.O.C., que possibilitou mapear fornecedores, insumos, processos, produtos e clientes, oferecendo uma visão sistêmica da cadeia de suprimentos. Os resultados demonstraram a aplicabilidade, diversidade e confiabilidade da madeira plástica em usos externos, como deques, pergolados, bancos e mesas, reforçando sua viabilidade em diferentes contextos produtivos. Além da relevância acadêmica e social, o estudo contribui para a indústria ao fornecer subsídios técnicos sobre desempenho e processo produtivo, destacando o potencial de expansão do material e seus impactos positivos de ordem ambiental, social e econômica.
Palavras-chave: Madeira plástica. Economia circular. Sustentabilidade.

Área do Conhecimento: Engenharia de Produção

Introdução

Diante da crescente demanda por processos produtivos sustentáveis e eficientes, a madeira plástica tem se consolidado como uma alternativa promissora no cenário industrial e ambiental. Estudos recentes evidenciam que consumidores demonstram maior preocupação com questões ambientais e sustentabilidade no momento da decisão de compra, o que tem impulsionado organizações a adotar práticas alinhadas aos princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável (Betanin et al., 2022).

Nesse contexto, o reaproveitamento de resíduos poliméricos na fabricação da madeira plástica contribui para reduzir a exploração de recursos naturais e mitigar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos sólidos, ampliando o potencial competitivo desse material (Stahel, 2021).

A madeira plástica apresenta características visuais semelhantes à madeira convencional, porém é produzida a partir de polímeros reciclados, como polipropileno e polietileno, amplamente utilizados em artefatos de consumo cotidiano. Seu processo produtivo destaca-se pela reinserção de resíduos pós-consumo no ciclo produtivo, reforçando os princípios da economia circular, que visam

substituir o modelo linear de produção e descarte por uma lógica de reaproveitamento e sustentabilidade (Rosino, 2019).

O presente estudo foi desenvolvido em parceria com a comunidade terapêutica Fazenda Esperança®, localizada em Guaratinguetá (SP), que utiliza a terapia laboral como ferramenta de reinserção social e tem na produção de madeira plástica uma de suas atividades. Exposto isso, o projeto de pesquisa busca compreender como a melhoria do processo produtivo pode influenciar na expansão desse material e gerar impactos positivos de ordem ambiental, social e econômica. Assim, o objetivo central consiste em analisar cadeias de suprimento regionais sob a ótica da economia circular, destacando a madeira plástica como alternativa sustentável capaz de unir reaproveitamento de resíduos, inovação produtiva e relevância social.

Metodologia

A pesquisa caracteriza-se por natureza aplicada, objetivo exploratório, com abordagem quali quantitativa, desenvolvida por método de estudo de caso. Um estudo de caso representa uma análise detalhada de uma situação específica e possibilita a análise profunda de fenômenos em seu contexto real, permitindo integrar diferentes fontes de evidência e gerar compreensão prática e teórica (Yin, 2018).

Por meio da ferramenta S.I.P.O.C. (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*), é possível realizar o mapeamento das etapas do processo produtivo da madeira plástica, identificando os fornecedores, as entradas de matéria-prima, as atividades do processo, as saídas geradas e os clientes envolvidos na cadeia produtiva.

O método desenvolvido foi a realização de visitas técnicas guiadas para conhecer a planta produtiva, bem como a interação entre os operadores, denominados acolhidos pela comunidade. Inicialmente, realizou-se um diálogo com o administrador da instituição, com o objetivo de compreender o funcionamento da comunidade, sua perspectiva de crescimento e a capacidade produtiva diária e mensal.

Posteriormente, foi realizada a visita ao setor de fabricação das peças de madeira plástica, permitindo a análise do recebimento dos insumos, das etapas do processo de transformação da matéria-prima e da dinâmica produtiva envolvida na fabricação do material. Para a caracterização do material os ensaios de corrosão em ambientes salino foi realizado na UNESP, Campus de Guaratinguetá, SP e os outros locais na mesma cidade em distintos tempos de exposição (30, 60 e 90 dias), de forma controlada para determinação da degradação da superfície, via microscopia óptica e a cinética de ataque pela análise da massa dos corpos de prova.

Resultados

O processo produtivo da madeira plástica na Fazenda Esperança inicia-se com o recebimento da matéria-prima, entre elas capa de fio de cobre, haste flexível, escova de dente, EPIs em desuso, entre outros, doados ou vendidos por empresas parceiras.

Figura1: Matéria-prima a) EPIs triturados; b) Hastes flexíveis



Fonte: Autores (2026)

O equipamento utilizado para produção foi a máquina extrusora que realiza o processo de transformação das partículas de polímeros em tábuas de dimensão em 2800mm comprimento e 40mm de espessura para construção de bancos, cadeiras, mesas, lixeira e cochos.

Figura 2: a) Máquina extrusora; b) Cochos para gado



Fonte: Autores (2026)

Para que haja os insumos necessários existe a parceria com indústrias, que são os fornecedores atuais de matéria-prima para produção da madeira plástica, como foi identificado no mapeamento da S.I.P.O.C, (Figura 3). Além disso, esta ferramenta identifica os principais clientes, podendo ser o setor rural, fazendeiros, empresários, clientes que se preocupam com a sustentabilidade, agentes inovadores, entre outros. As etapas produtivas também são listadas e identificadas nesse diagrama.

Figura 3: Ferramenta S.I.P.O.C

S	I	P	O	C
Indústrias	Capa de fio de cobre	Moinho	Bancos	Público inovador
Comunidade	EPI'S	Aglutinador	Cadeiras	Público sustentável
Cooperativas	Hastes flexíveis	Funil	Cochos	Setor de agronegócio
	Escovas de dente	Forma	Mesas	Fazendeiros
		Resfriamento		Empresários
		Extrusão		
		Serralheria		

Fonte: Autores (2026)

As amostras cedidas pela Fazenda Esperança® foram preparadas por meio de corte no torno, identificação e acondicionamento adequado, com o objetivo de realizar estudos específicos sobre o material. Os ensaios contemplaram a avaliação do comportamento frente às intempéries, a perda de massa e o desempenho mecânico sob tração e compressão. Após a preparação, as amostras foram expostas a diferentes ambientes representativos (rural, marítimo, urbano e industrial) durante períodos controlados de 30, 60 e 90 dias, permitindo a análise comparativa da degradação e das alterações nas propriedades físicas e mecânicas ao longo do tempo, Figuras 4 e 5.

Figura 4: Exposição das amostras a) ambiente industrial; b) urbano.



Fonte: Autores (2026)

Figura 5: Exposição das amostras a) ambiente marítimo; b) rural.



Fonte: Autores (2026)

Realizou-se uma análise sobre o clima no período de exposição das amostras, segundo os dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastre Natural (CEMADEN, 2026), e as informações obtidas foram que no trimestre de abril a junho de 2026, o município de Guaratinguetá apresentou um regime climático típico de transição outonal, com redução progressiva das chuvas, episódios isolados de precipitação intensa, calor acima da média em abril e quedas de temperatura mais acentuadas entre maio e junho.

Essas condições expuseram as amostras a diferentes intempéries, desde alta umidade e risco de lixiviação até períodos prolongados de seca e frio intenso, permitindo uma análise abrangente da resistência e do comportamento do material frente às variações climáticas características da região, Tabela 1.

Tabela 1: Dados climáticos de abril a junho de 2026

Mês	Temperatura média (°C)	Desvio Padrão (°C)	Umidade Média (%)	Desvio Padrão (%)
Abril	21,5	± 1,8	78	± 5
Maio	20,7	± 2	73	± 6
Junho	20,2	± 2,5	71	± 7

Fonte: Cemaden (2026)

Os dados climáticos de abril a junho de 2026 em Guaratinguetá revelaram médias de temperatura entre 20–22 °C e umidade relativa entre 71–78%, com desvios padrão moderados. Em abril, a maior umidade favoreceu absorção de água e degradação superficial; em maio, a estiagem e as variações térmicas intensificaram a perda de massa; e em junho, o clima seco e frio exigiu maior resistência mecânica, evidenciando a durabilidade do material frente às condições extremas.

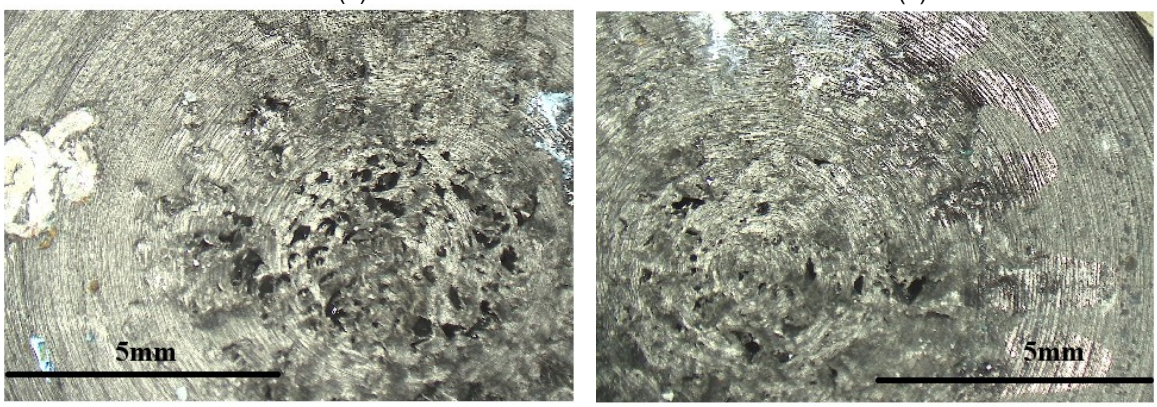
A exposição controlada das amostras em condições reais contribui para ampliar o entendimento científico acerca do comportamento do material e, simultaneamente, validar sua

viabilidade em diferentes contextos produtivos, oferecendo à indústria parâmetros concretos para a avaliação de sua resistência e desempenho em ambientes externos.

A análise por Microscopia Estereoscópica no Laboratório de Materiais realizada no laboratório de materiais da FEG/UNESP, permitiu observar em detalhe marcas da ferramenta de corte devido a usinagem, e porosidade de morfologia irregulares com diferentes dimensões, devido ao ataque de cloreto de sódio (5%) durante 60 dias, Figura 5 (a) e (b).

Figura 5: Micrografia das amostras da Madeira Plástica, após exposição de 60 dias em ambiente salino

(a) (b)



Fonte: Autores (2026)

Observa-se uma concentração significativa de porosidades e vazios internos, principalmente na região central da imagem, caracterizados por cavidades de diferentes tamanhos e formatos irregulares. As amostras submetidas a ambientes marítimo apresentaram um ganho de massa próximo de 1g. Esse fenômeno está associado à absorção de água e à retenção de sais minerais.

Embora a madeira plástica seja composta majoritariamente por polímeros reciclados, sua estrutura pode apresentar porosidade residual ou microespaços entre fibras e matriz, permitindo a penetração de líquidos. Esse aumento de massa não implica necessariamente em perda de desempenho mecânico, mas indica que, em aplicações submersas ou de contato contínuo com água, é necessário considerar possíveis alterações na densidade e na durabilidade do material, Tabela 2.

Tabela 2: Pesagem das amostras da Madeira Plástica, após 90 dias de exposição em diferentes meios

Amostra (3 meses)	Peso Inicial	Peso Final	Diferença (%)	Desvio Padrão (%)
Rural	63,56	63,49	0,10	0,05
Rural duplicata	63,74	63,64	0,16	0,07
Urbano	61,74	61,63	0,18	0,08
Urbano Duplicata	61,49	61,38	0,18	0,08
Marítimo	63,32	64,23	1,43	0,64
Marítimo Duplicata	62,20	63,99	0,35	1,27
Industrial	63,40	63,29	0,17	0,08
Industrial Duplicata	63,31	63,18	0,20	0,09

Fonte: Autores (2026)

A análise das amostras expostas evidenciou que a menor variação de peso ocorreu no ambiente rural, com diferenças percentuais próximas de 0,10% e baixo desvio padrão, indicando estabilidade frente às condições climáticas locais. Em contraste, a maior variação foi observada nas

amostras submetidas ao ambiente marítimo, que apresentaram aumento de até 1,43% no peso e desvios padrão mais elevados, refletindo maior influência da umidade e da salinidade sobre o material.

Apesar disso, a perda foi mínima, demonstrando boa estabilidade dimensional e resistência ao intemperismo quando comparada à madeira natural, que tende a sofrer degradação mais acentuada em condições semelhantes, como temperaturas de 20,8°C (±2,1 °C) e umidade de 74% (±6%), apresentadas nesse período conforme informações do CEMADEN (2026).

Discussão

As informações sobre as propriedades da madeira plástica, seu desempenho mecânico, o impacto social e ambiental gerado são fundamentais para assegurar a aplicação deste material em setores como a construção civil, o paisagismo e o design de ambientes externos, consolidando-a como alternativa sustentável à madeira convencional e incentivando a prática de Economia Circular (EC), com o intuito de reutilizar, renovar, reparar e reciclar os produtos e materiais já existentes, desse modo o que era visto como resíduo pode ser transformado em um recurso (Brito *et. al.*, 2021).

Ao fornecer subsídios técnicos para sua utilização em escala industrial e comercial, a pesquisa contribui para ampliar o conhecimento científico sobre materiais poliméricos reciclados e fortalecer sua inserção em cadeias produtivas circulares (Stahel, 2019).

As investigações ainda estão em andamento, incluindo futuros ensaios de tração, compressão e análises por Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV). Mesmo assim, já se evidencia a importância da caracterização da madeira plástica frente à exposição a intempéries, garantindo qualidade, segurança e confiabilidade em aplicações comerciais e industriais.

De forma geral, os resultados evidenciam que a madeira plástica possui maior resistência ao intemperismo nos ambientes rural, urbano e industrial, com perdas mínimas em ambientes exposto.

Conclusão

A aplicabilidade da madeira plástica é ampla, podendo ser utilizada em diferentes ambientes e finalidades, como praças, jardins, decks, mobiliários, estruturas rurais e cochos para animais. Essa versatilidade demonstra o potencial de crescimento do material no mercado, especialmente devido ao aumento da busca por alternativas sustentáveis.

Sob as perspectivas social, econômica e ambiental, constatou-se que a atividade produtiva desempenha papel relevante no processo de reinserção dos acolhidos, uma vez que a terapia laboral, aliada à capacitação técnica para operação dos equipamentos, contribui para a recuperação da autoestima e para o desenvolvimento de habilidades profissionais que podem ser aproveitadas após o período de acolhimento.

Adicionalmente, destaca-se o caráter ambientalmente sustentável desse material, uma vez que é produzido a partir de polímeros reciclados. Dessa forma, sua utilização representa uma alternativa viável para a mitigação de impactos ambientais, contribuindo para a redução do descarte de resíduos plásticos e para a diminuição da exploração de recursos naturais, como a extração ilegal de madeira.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fazenda Esperança® e a Coordenadoria Geral de Ensino Superior de Graduação – Programa de Monitoria em Iniciação Científica e Tecnológica – FATEC – Unidade de Guaratinguetá, SP - CEETEPS pela concessão da bolsa.

Referências

BETANIN, C.; CRACO, T.; CAMARGO, M. E.; BIEGELMEYER, U. H. **Sustentabilidade empresarial como fator na decisão de compra**, 2022. Disponível em: Acesso em: 28 jun. 2026.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br>. Acesso em: 01 ago. 2026.

ROSINO, L. S.; OLIVEIRA, R. C. de; FERREIRA, R.; MORETO, J. A.; MANFRINATO, M. D.; PAIVA, J. M. F. de. **Estudo comparativo da resistência à flexão da Madeira Plástica, Fibra de Madeira de Densidade Média, Pinus e Polipropileno submetidos aos condicionamentos de secagem, saturação de umidade e radiação UV.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 14, n. 1, 2019, 11-18. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuário/Downloads/admin,+Remap-658-03%20(1)%20(1).pdf> Acesso em: 03 ago 2026.

STAHEL, W. R. **The circular economy: A user's guide. Routledge, 2019.** Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/332935101_The_Circular_Economy_-_a_user's_guide>. Acesso em: 05 abr. 2026.