

ANÁLISE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS NA FABRICAÇÃO DE MADEIRA PLÁSTICA

Gerson Frighetto, Clair Frighetto, Mara Zeni Andrade, Ana M.C. Grisa, Edson L. Francisquetti*

Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Farroupilha, RS- Brazil.

*Autor de correspondencia: edson.francisquetti@farroupilha.ifrs.edu.br

RESUMO

A utilização de resíduos pós-consumo e industriais é uma possibilidade que está sendo avaliada para minimizar os impactos causados pela grande quantidade de resíduos gerados atualmente. Os resíduos poliméricos pós-consumo e os resíduos do processamento de madeira são dois tipos de resíduos que geram preocupações ambientais devido à sua eliminação complexa, gerando passivos ambientais. A utilização destes resíduos na produção de madeira plástica torna-se uma alternativa, contribuindo para o conceito de economia circular. Este estudo tem como objetivo produzir e avaliar as propriedades mecânicas, através de análises de tração, impacto, fluidez e microscopia eletrônica de varredura, de madeira plástica produzida com 10, 20 e 30% em massa de resíduos de madeira, resíduos poliméricos e o uso de um aditivo modificador de impacto. As análises demonstraram que a incorporação de resíduos de madeira como reforço na produção de compósitos de madeira plástica influencia significativamente o desempenho do material resultante. Em comparação com o polipropileno virgem, os compósitos que contêm 30% de serragem apresentaram melhor desempenho em termos de resistência mecânica. Essa tendência de desempenho manteve-se ao utilizar polipropileno reciclado na presença de um agente compatibilizante e de um modificador de impacto.

Palabras clave: *Madeira plástica, Resíduos poliméricos, Propriedades da madeira plástica.*

ABSTRACT

The use of post-consumer and industrial waste is a possibility currently being evaluated to minimize the impacts caused by the large amount of waste generated. Post-consumer polymeric waste and wood processing waste are two types of waste that raise environmental concerns due to their complex disposal, generating environmental liabilities. The use of these wastes in the production of plastic lumber becomes an alternative, contributing to the circular economy concept. This study aims to produce and evaluate the mechanical properties, through tensile, impact, fluidity, and scanning electron microscopy analyses, of plastic lumber produced with 10, 20, and 30 wt% of wood waste, polymeric waste, and the use of an impact modifier additive. The analyses demonstrated that the incorporation of wood waste as reinforcement in the production of wood-plastic composites significantly influences the performance of the resulting material. Compared to virgin polypropylene, the composites containing 30% sawdust showed better performance in terms of mechanical strength. This performance trend was maintained when using recycled polypropylene in the presence of a compatibilizing agent and an impact modifier.

Keywords: *Wood plastic; polymeric residues; properties of wood plastic.*

1. INTRODUCCIÓN

Os materiais poliméricos e a madeira são amplamente utilizados atualmente, resultando em grandes quantidades de resíduos. A reutilização desses resíduos para o desenvolvimento de novos materiais é uma alternativa viável para minimizar os impactos ambientais. A produção de madeira plástica surge como uma possibilidade promissora para a reutilização de resíduos desses materiais, contribuindo para a sustentabilidade e a economia circular.

O desenvolvimento sustentável e a busca por soluções ambientalmente responsáveis são diretrizes fundamentais no cenário industrial moderno, especialmente diante do crescente volume de resíduos gerados pelos processos produtivos e pelo consumo. Neste contexto, os resíduos poliméricos pós-consumo e os subprodutos do beneficiamento da madeira representam uma significativa parcela de materiais descartados que possuem grande potencial de reaproveitamento. Conforme Poletto [1], a necessidade de substituir recursos limitados por alternativas sustentáveis tem impulsionado pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos materiais a partir de fontes renováveis e resíduos sólidos. Em particular, os compósitos reforçados com fibras naturais, segundo Mattos e Francisquetti [2], emergem como substitutos viáveis para a madeira em diversas aplicações, com destaque para sua utilização na fabricação de madeira plástica.

A produção de madeira plástica não apenas oferece uma alternativa ecológica ao uso de madeira natural, mas também se alinha às expectativas de mercados consumidores por produtos mais sustentáveis. Figueiredo Filho e Reis [3] apontam que este panorama tem incentivado a indústria a investir no desenvolvimento de processos que integrem o uso eficiente de matérias-primas recicladas e resíduos, criando oportunidades de negócios e promovendo práticas mais sustentáveis.

Este trabalho analisou as propriedades mecânicas de compósitos madeira-plástico produzido a partir de polipropileno reciclado (PPr) e serragem. O objetivo é avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso desses resíduos na fabricação de produtos em larga escala. Diversos estudos têm sido fundamentais para compreender os desafios e possibilidades dessa abordagem. Por exemplo, Guimarães [4] analisou os aspectos técnicos e econômicos da produção de madeira plástica com materiais reciclados, enquanto Carnietto [5] e Lima [6] exploraram as dimensões de mercado e a viabilidade produtiva no Brasil. Esses estudos indicam que a produção de madeira plástica é viável no contexto brasileiro, desde que os processos de fabricação sejam bem gerenciados e adaptados às condições locais.

Além disso, a qualidade do compósito pode ser significativamente influenciada pelo uso de aditivos especializados. Fornari Junior [7] destaca a importância do anidrido maleico como um compatibilizante que facilita a adesão entre o plástico e a madeira, formando uma ponte química que respeita as diferenças de energia superficial de cada material. Complementarmente, o lubrificante Estruktol, segundo Bitencourt [8], melhora o processamento desses compósitos em procedimentos de injeção. Avalia-se também o potencial do Evaloy PWT como um modificador de impacto, segundo Alves [9], e agente de acoplamento, conforme Songhan [10], para reforçar a interação entre as matrizes e os reforços dos compósitos.

2. EXPERIMENTAÇÃO

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados como materiais: polipropileno virgem (PP), grau RP 347 (Braskem); polipropileno reciclado (PPr), obtido em uma recicladora da cidade de Serafina Corrêa-RS; serragem de madeira (RM) da espécie *Pinus elliottii*, obtida em madeireira na cidade de Guaporé-RS; e aditivos: anidrido maleico (PP-g-MA) (Merck) como agente compatibilizante, Struktol TPW 113 e Versify 3300 (Dow).

Os resíduos de madeira (serragem) e os plásticos reciclados foram caracterizados quanto ao tamanho de partículas por meio de análise granulométrica, utilizando um conjunto de peneiras Bertel (variando de 1,7 a 0,06 mm para a serragem e de 6,3 a 0,3 mm para os plásticos reciclados) e um agitador Contenco.

Os compósitos foram preparados utilizando um misturador intensivo tipo Dryser, seguindo as proporções especificadas na Tabela 1. Após a mistura, os compósitos foram moídos utilizando um moinho de facas da marca Seibt. O material moído foi seco em estufa com circulação de ar a 60 °C por 24 horas.

Tabela 1. Composição das amostras produzidas.

Amostra		Materiais						
		PP [%]	RP [%]	R M [%]	Anidrido Maleico [%]	Struktoll [%]	Versify [%]	Total [%]
Referência	PP	100	0	0	0	0	0	100
	RP	0	100	0	0	0	0	100
Polipropileno + Resíduo de Madeira	P1	87	0	10	1	2	0	100
	P2	77	0	20	1	2	0	100
	P3	67	0	30	1	2	0	100
Resíduos de Polímeros + Resíduos de Madeira	R1	0	87	10	1	2	0	100
	R2	0	77	20	1	2	0	100
	R3	0	67	30	1	2	0	100
Resíduo de Polímeros + Resíduo de Madeira + Versify	RV1	0	77	10	1	2	10	100
	RV2	0	67	20	1	2	10	100
	RV3	0	57	30	1	2	10	100

Legenda: PP (Polipropileno Virgem); RP (Resíduos de Polímeros); RM (Resíduo de Madeira).

Caracterização dos Compósitos

Para a caracterização dos compósitos, corpos de prova do tipo IV foram injetados de acordo com a norma ASTM D638, utilizando uma injetora Himaco modelo LHS 150-80. As temperaturas de injeção foram ajustadas para 150, 165 e 180 °C nas três zonas de aquecimento, com 40% da potência no bico de injeção. Os corpos de prova para ensaios de impacto foram produzidos conforme a norma ASTM D256-06 e foram entalhados 7 dias após a injeção.

Os ensaios de resistência à tração foram realizados em uma máquina de ensaios universal EMIC DL 2000, conforme a norma ASTM D638, com uma velocidade de 50 mm/min. Os ensaios de resistência ao impacto Izod foram realizados utilizando um equipamento Zwick modelo Q-580, com martelo de 4 J, conforme norma ASTM D256-06. Ambos os tipos de corpos de prova foram testados 7 dias após a injeção.

O índice de fluidez dos compósitos foi avaliado utilizando um plastômetro Melt Flow Quick Index, conforme o método ASTM D1238. Este índice é definido pela quantidade de massa, em gramas, que flui através de uma matriz durante 10 minutos, aplicando pressão a uma dada temperatura. O ensaio foi realizado a uma temperatura de 230 °C com uma carga de 2,16 kg. A cada minuto, foi

retirada uma amostra que posteriormente era pesada, para ser feita a conversão para o peso em 10 minutos. Foram feitas 5 medidas de cada compósito e, com os resultados, foram calculados a média e o desvio padrão dos valores.

A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada em corpos de prova fraturados nos ensaios de impacto. As amostras foram analisadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) TM3000 da Hitachi, operando a uma tensão de aceleração de 5 kV. As amostras foram preparadas sobre um suporte de 70 mm de diâmetro e 50 mm de altura, utilizando fita de carbono e cobre para fixação. As imagens foram coletadas com uma ampliação de 400x.

Estes métodos foram criteriosamente selecionados para permitir uma avaliação abrangente das propriedades mecânicas e estruturais dos compósitos madeira-plástico, visando determinar a viabilidade da utilização de resíduos como matérias-primas em aplicações industriais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise granulométrica da serragem de madeira, apresentada na Figura 1, e do plástico reciclado, apresentada na Figura 2, demonstra que mais de 50% da serragem tem granulometria entre 0,6 mm e 0,4 mm, sendo que 25,4% ficaram retidos na peneira de 0,6 mm e 26,4% retidos na peneira de 0,425 mm. A análise granulométrica dos plásticos reciclados mostra que 95,6% das partículas do reciclado possuem granulometria entre 6,3 mm e 2,36 mm, sendo que 32,5% ficaram retidas na peneira de 6,3 mm, 35,1% retidas na peneira de 4,75 mm e 27,8% retidas na peneira de 2 mm. A granulometria do resíduo de madeira, conforme avaliado por [11] e [12], é um fator importante a ser observado, pois contribui para a homogeneidade entre as partículas e a matriz polimérica e facilita o processo de injeção, uma vez que partículas finas se acomodam melhor nos vazios da massa polimérica.

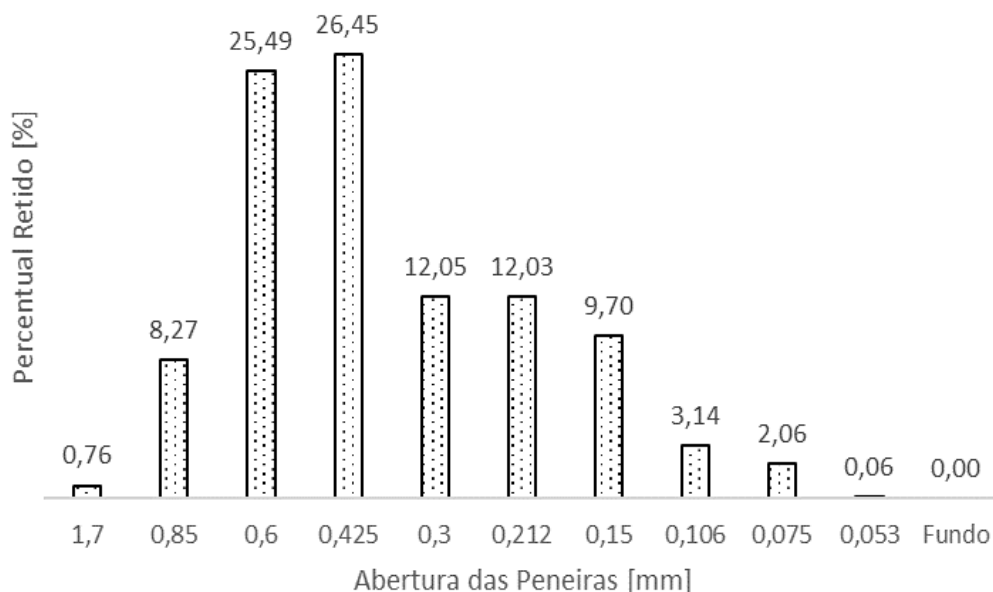


Figura 1 – Granulometria dos resíduos de madeira.

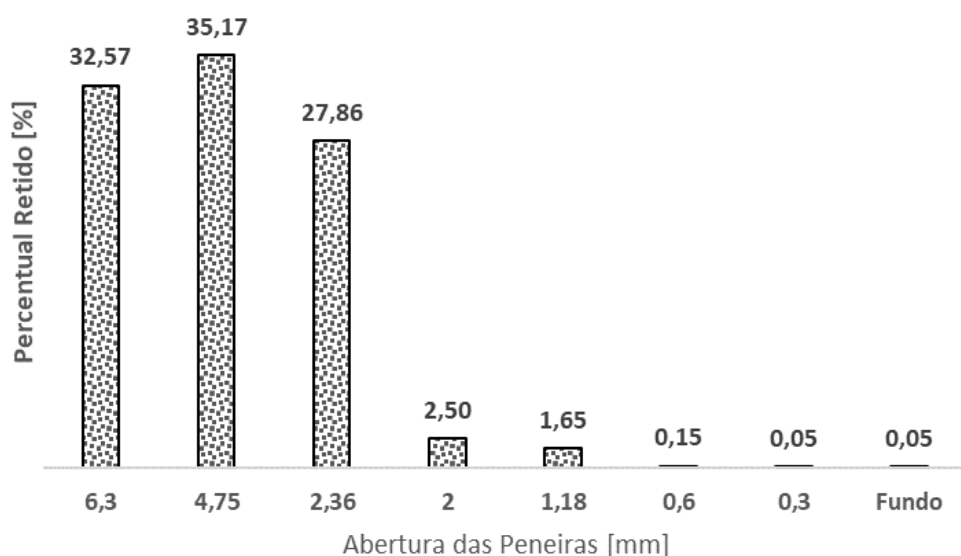


Figura 2 – Granulometria dos resíduos do polímero (PP).

Conforme [7], a forma das partículas vegetais influencia diretamente as propriedades finais do compósito e constitui um dos fatores importantes na construção das suas características mecânicas, uma vez que a efetiva área superficial tem influência considerável sobre as propriedades finais do compósito e é inversamente dependente do tamanho de partícula; ou seja, quanto menor o tamanho da partícula, maior será a área superficial disponível.

A análise de tensão na ruptura para diferentes amostras de compósitos de madeira-plástico, variando de polipropileno puro a combinações com polipropileno reciclado e resíduos de madeira, está apresentada na Figura 3. Percebe-se que as amostras P1, P2 e P3 (mistura PP virgem e serragem), com teores de serragem de 10, 20 e 30% respectivamente, quando comparadas com o PP virgem, apresentaram uma tendência de aumento da resistência à tração na ruptura e do módulo elástico, e diminuição da elongação com o aumento do teor de serragem. A adição de um aditivo compatibilizante contribuiu para os resultados obtidos, pois a serragem possui um caráter polar e o polipropileno é apolar; a adição do PP-g-MA facilitou a interação da matriz com o reforço. Os resultados obtidos neste trabalho foram semelhantes aos obtidos por [12]. Já as amostras R1, R2 e R3 (mistura plástico reciclado e serragem), com 10, 20 e 30% de serragem, quando comparadas com o RP, apresentaram uma redução na tensão de ruptura. Segundo [13], quando são utilizados resíduos poliméricos pós-consumo, vários fatores podem estar associados à redução das propriedades mecânicas dos WPCs, pois os resíduos pós-consumo são de fontes diferentes e a contaminação por outros polímeros pode ocorrer, prejudicando as propriedades finais do compósito, mesmo com a adição de compatibilizantes.

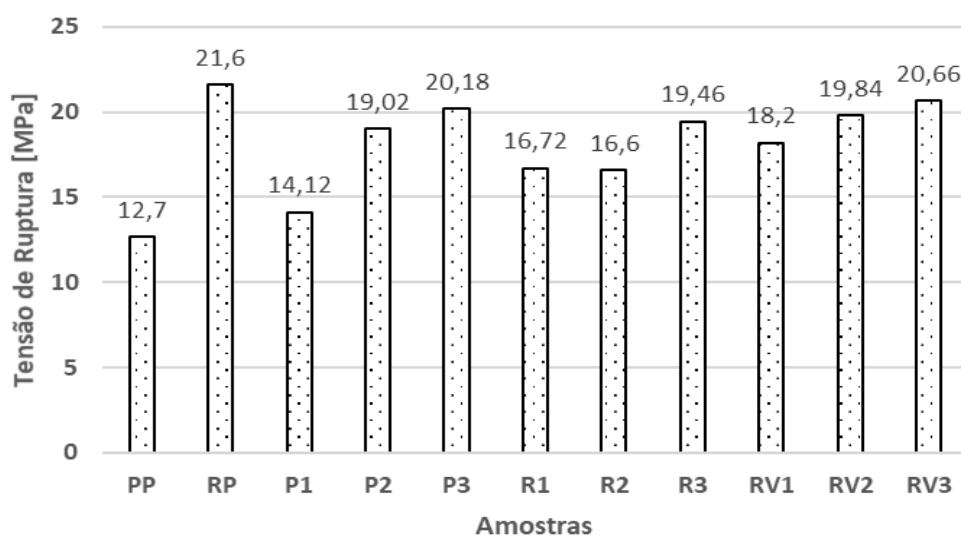


Figura 3 – Resistência à tração das amostras.

As amostras RV1, RV2 e RV3 mostram uma elevação na resistência à tração, uma redução do módulo e aumento na deformação em relação às amostras R1, R2 e R3. As variações nos resultados possivelmente ocorreram devido à adição do Versify, um modificador de impacto que auxiliou na adesão entre os resíduos de madeira e a matriz polimérica. Segundo [14], a adição de um elastômero melhora a compatibilidade devido ao encapsulamento elastomérico das fibras de madeira. [15] destacam que, onde as superfícies de partículas de madeira estão cobertas com elastômero, melhora-se a eficácia dos modificadores de tenacidade para WPCs, reduzindo tanto a resistência

quanto o módulo quando comparados à adição de um elastômero como uma fase macia no polímero da matriz.

Na análise de resistência ao impacto das amostras produzidas, apresentada na Figura 4, observa-se que o polipropileno virgem (PP) apresenta a maior resistência ao impacto, com 279,90 J/m², devido à sua homogeneidade e ausência de interfaces fracas. Os plásticos reciclados (RP) mostram uma resistência significativamente menor, 54,36 J/m², possivelmente, conforme [16], devido à mistura de materiais e possível degradação térmica.

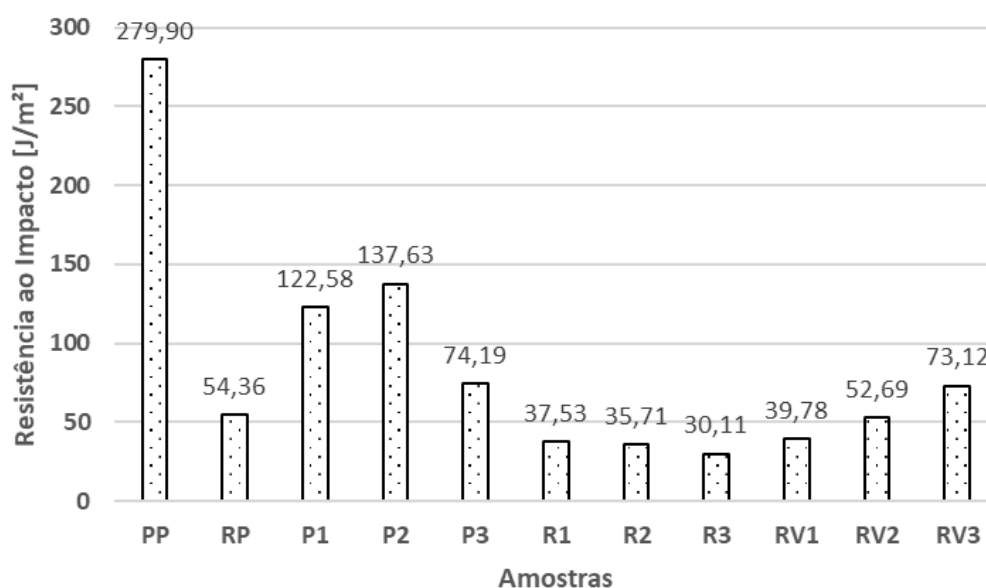


Figura 4 – Resistência ao impacto das amostras.

As amostras de PP com serragem (P1, P2, P3) apresentam redução progressiva na resistência ao impacto com o aumento da serragem, devido à fragilidade na interface madeira-polímero. O mesmo padrão é observado nas amostras de plásticos reciclados com serragem (R1, R2, R3). Já as amostras de plástico reciclado com serragem e Versify (RV1, RV2, RV3) mostram aumento na resistência ao impacto, pois o Versify atua como modificador de impacto e agente de acoplamento, melhorando as propriedades do compósito [17].

A avaliação da fluidez é um fator crucial para compreender o comportamento dos materiais durante o processo de extrusão, etapa essencial na fabricação desses compósitos. Segundo a análise de [17], a fluidez influencia diretamente a eficiência do processo produtivo, bem como as propriedades finais do material, como resistência mecânica e estabilidade dimensional. Os resultados obtidos fornecem uma visão sobre a capacidade de processamento dos polímeros reciclados e da serragem, permitindo a identificação de condições para a produção de compósitos com melhor desempenho e qualidade. A análise do índice de fluidez é apresentada na Figura 5.

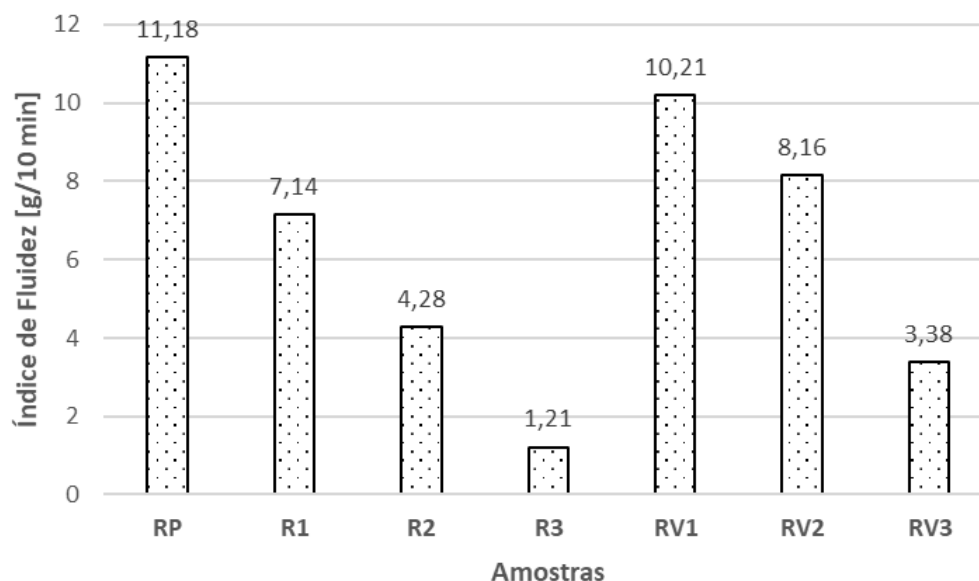
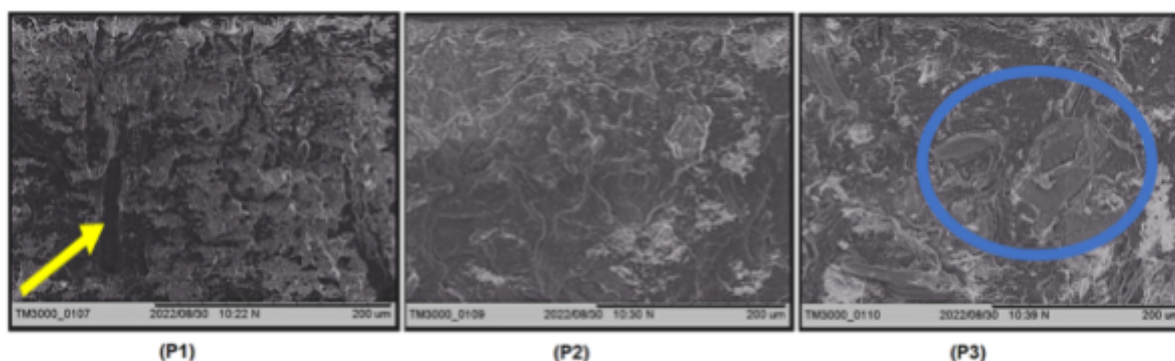


Figura 5 – Análise do índice de fluidez dos compósitos.

Os resultados de índice de fluidez dos compósitos P1, P2, P3, R1, R2, R3, RV1, RV2 e RV3 mostram uma tendência de redução do índice com o aumento do percentual de serragem, possivelmente atribuída à adição da serragem que, por ser sólida na temperatura de processamento, dificulta o fluxo do polímero fundido. O índice de fluidez diminui proporcionalmente com o aumento da adição da madeira, devido às características físicas do reforço sólido durante o processamento, dificultando o deslocamento das cadeias poliméricas. Já a adição do Versify no RP aumentou a fluidez de RV1, RV2 e RV3 quando comparados com R1, R2 e R3, em todas as proporções estudadas, possivelmente devido à menor temperatura de fusão do Versify em comparação ao PPr, o que pode ter influenciado no fluxo do fundido. Normalmente, quando ocorre aumento do índice de fluidez, deve-se ao melhor movimento molecular das cadeias poliméricas; neste estudo, as cadeias poliméricas do modificador de impacto (Versify) podem ter a ação de lubrificante/plastificante, induzindo ao aumento da fluidez.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) possibilita avaliar a morfologia entre as partículas de madeira e a matriz polimérica. O polipropileno virgem com resíduos de madeira, com aumento de 400x, é apresentado na Figura 6. Observa-se uma superfície relativamente lisa e homogênea nas três amostras; em P1, P2 e P3 observa-se que a madeira está bem distribuída na matriz. Na amostra P3, com 30% de madeira, observam-se as partículas de madeira dispersas na matriz (círculo azul) e envoltas com polímero, indicando que o agente de acoplamento foi eficiente. Também se observa que, na amostra P1 (10%), ocorreu arrancamento da madeira da matriz (seta amarela).



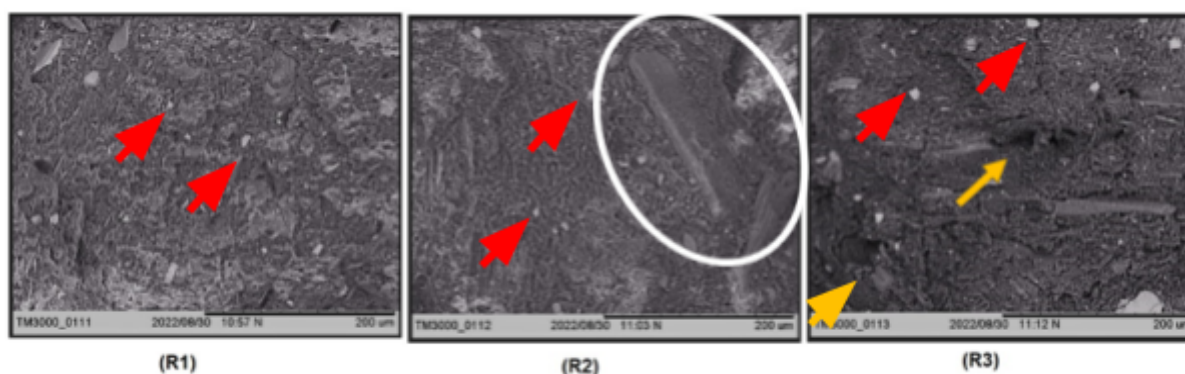
(P1)

(P2)

(P3)

Figura 6 – MEV dos compósitos P1 (10% de madeira), P2 (20% de madeira) e P3 (30% de madeira), com aumento de 400x.

Na Figura 7, as amostras de Polipropileno Reciclado com Resíduo de Madeira são mostradas.



(R1)

(R2)

(R3)

Figura 7 – MEV dos compósitos R1 (10% de madeira), R2 (20% de madeira) e R3 (30% de madeira), com aumento de 400x.

Em todas as amostras (R1, R2 e R3), observa-se a presença de pontos brancos (seta vermelha) que possivelmente sejam contaminação do RP, pois não se observaram esses pontos nas amostras P1, P2 e P3. Também se observa que a superfície mostra uma boa dispersão das partículas de madeira, com a interface madeira/matriz adequada, como pode ser visto na R2 (círculo branco). Na R3, observam-se pontos de arrancamento da madeira da matriz que apresentam vazios (seta laranja).

Com a adição de Versify ao compósito, observa-se uma nova configuração da matriz, como apresentado na Figura 8, possivelmente devido à interação entre o PP e o Versify. Isso é mais visível na RV1 quando comparada com P1 e R1; a amostra RV1 tem aspecto esponjoso (círculo verde). Ainda se observa a presença de pontos brancos nas amostras, bem como vazios referentes ao arrancamento da madeira da matriz (seta laranja). A interface madeira/matriz tem um aspecto mais homogêneo e a madeira está mais envolta na matriz, o que pode ser visto através da comparação

entre RV3, P3 e R3; na amostra RV3 fica menos perceptível a presença da madeira (círculo vermelho).

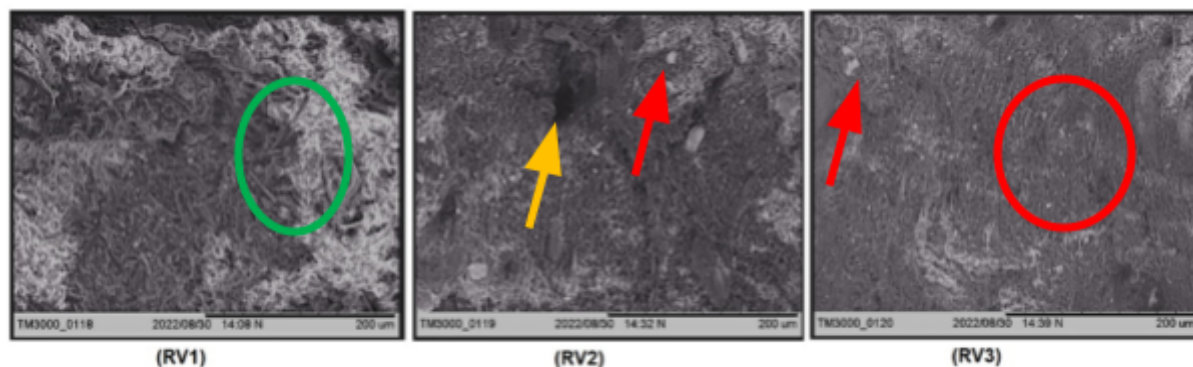


Figura 8 – MEV dos compósitos RV1 (10% de madeira), RV2 (20% de madeira) e RV3 (30% de madeira), com aumento de 400x.

De modo geral, a adição do anidrido maleico e do Versify promove a adesão da madeira com a matriz polimérica. Os agentes compatibilizantes deixam a morfologia menos rugosa, diminuindo a presença de vazios e cavidades resultantes do arrancamento da madeira da matriz.

Considerando os parâmetros da norma NBR 7190:2022 para resistência à tração de madeiras naturais, os compósitos produzidos se equivalem às classes de resistência de coníferas C24 (14 MPa) a C35 (21 MPa), e folhosas D24 (14 MPa) a D35 (21 MPa), visto que a resistência das amostras produzidas variou de 14,12 MPa a 20,66 MPa. Mas, segundo [15], a fabricação de madeira plástica deve ter uma avaliação criteriosa de sua aplicação.

4. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido busca trazer uma importante contribuição ao estudo de compósitos de madeira plástica, evidenciando o potencial da utilização de resíduos poliméricos e serragem de madeira na fabricação de novos materiais com boas propriedades mecânicas. No entanto, a pesquisa também destaca alguns desafios críticos, principalmente relacionados à qualidade dos resíduos utilizados, que podem influenciar diretamente no desempenho final dos compósitos. A análise mostrou que as contaminações presentes nos polímeros reciclados podem prejudicar a uniformidade e a resistência dos materiais produzidos, indicando a necessidade de processos rigorosos de triagem e limpeza dos resíduos antes de sua incorporação no processo de produção.

Os resultados obtidos indicam que, apesar dos desafios enfrentados, os compósitos de madeira plástica alcançaram propriedades de resistência à tração comparáveis a algumas classes de madeiras naturais, variando entre 14 MPa e 21 MPa, o que demonstra a viabilidade de sua aplicação em substituição a materiais convencionais, principalmente em setores que demandam materiais com boas propriedades mecânicas e durabilidade. A adição do aditivo Versify mostrou-se particularmente eficaz, não apenas melhorando a compatibilidade entre os resíduos de madeira e a matriz polimérica, mas também aumentando a resistência ao impacto e a fluidez do material. Isso sugere que o uso de modificadores de impacto e agentes compatibilizantes pode ser uma solução viável para superar as limitações associadas ao uso de materiais reciclados.

Em termos de sustentabilidade, a produção de compósitos a partir de resíduos pós-consumo de plásticos e serragem de madeira não apenas oferece uma solução para o problema do descarte inadequado desses materiais, mas também contribui significativamente para a economia circular. Ao promover a reutilização de resíduos que seriam descartados, o processo minimiza a extração de recursos naturais e reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros. Esse aspecto é fundamental em um contexto global de crescente preocupação com a preservação ambiental e o desenvolvimento de soluções mais ecológicas.

Contudo, é importante destacar que, para garantir a qualidade e consistência do produto final, os processos de fabricação e a seleção dos materiais necessitam de uma análise criteriosa. A contaminação dos polímeros reciclados e a variação nas propriedades dos resíduos de madeira utilizados representam desafios que precisam ser enfrentados através da melhoria dos processos de reciclagem e de técnicas de purificação dos materiais. Testes adicionais, incluindo análises térmicas e de durabilidade, serão essenciais para garantir que os compósitos atendam às exigências de diferentes aplicações, particularmente em ambientes mais severos, como o da construção civil.

As análises realizadas demonstraram que a incorporação de resíduos de madeira influencia significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos. No entanto, a variabilidade dos resultados sugere que a composição e o processamento dos materiais precisam ser otimizados para garantir um desempenho consistente. A adição de agentes compatibilizantes, como o anidrido maleico e o Versify, demonstrou ser uma estratégia eficaz para melhorar a coesão entre a matriz polimérica e os resíduos de madeira, reduzindo a presença de vazios e melhorando a distribuição das partículas no compósito.

5. AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem o apoio do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS (IFRS) – Campus Farroupilha, Brasil, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Poletto, M. (2017). Compósitos termoplásticos com madeira: Uma breve revisão. *Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada*, 2(4), 42-48.
2. Mattos, C. de, & Francisquetti, E. L. (2018). Review: Compósitos poliméricos para substituir madeira aplicada em semirreboques - fatores que influenciam no comportamento mecânico. *Revista Liberato*, 19(32), 135-140.
3. Figueiredo Filho, M. V. R., & Reis, P. H. J. (2019). *Viabilização de projetos utilizando a madeira plástica no campo da construção civil* [Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia].
4. Carnietto, M. B. (2020). *Análise de mercado de Wood-Plastic Composite (WPC) no Brasil* [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista].
5. Guimarães, L. F. C. (2013). *Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos na produção de madeira plástica por meio da utilização de materiais reciclados* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais].
6. Scheeren, D., Mahlmann, C. M., & Muller, F. (2020). Avaliação das propriedades de um compósito de matriz polimérica de polipropileno reciclado reforçado com resíduo de madeira. *Tecno-Lógica*, 24(2), 132-141.
7. Fornari Filho, C. C. M. (2017). *Fibras vegetais para compósitos poliméricos*. Editus.
8. Bitencourt, S. S. (2011). *Desenvolvimento de biocompósito de poli(l-ácido láctico) com serragem de madeira* [Dissertação de Mestrado, Universidade da Região de Joinville].
9. Alves, A. F. M. (2022). *Compósito híbrido PET reciclado/rejeito de fibras de algodão/argila montmorilonita para aplicações em têxteis técnicos* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte].
10. Songhan, N. (n.d.). *DuPont Evaloy PTW*. LookPolymers. Recuperado em novembro de 2023, de <http://www.lookpolymers.com>
11. Bakar, M. B. A., et al. (2010). Flammability and mechanical properties of wood flour-filled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5), 2714-2722.

12. Battistelle, R., Viola, N., Bezerra, B., & Valarelli, I. (2014). Caracterização física e mecânica de compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. *Revista Matéria*, 19(1), 7-15.
13. Oliveira, H. N., & Mulinari, D. R. (2014). Avaliação do uso de agente compatibilizante em compósitos poliméricos. *Cadernos UniFOA*, 9(26), 75-82.
14. De Paula, P. G. (2011). *Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica* [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense].
15. Miranda, L. V. (2020). *Compósito à base de polipropileno reciclado para utilização nas construções rural e civil* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande].
16. Silva, W. C. L. (2019). *Influência das condições de processamento nas propriedades de madeira plástica com pó de casca de castanha de caju (CCC)* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba].
17. Yamaji, F. M. (2004). *Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira* [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná].