



## **Estudos das propriedades mecânicas, físicas e morfológicas em compósitos utilizados na construção civil**

### **Adriano Pereira Cardoso**

Mestre, PPGTL - Unicesumar, Brasil.

apcardoso\_96@hotmail.com

Orcid ID 0000-0003-0018-4746

### **Felipe Nakamura Bassani**

Mestrando, PPGTL - Unicesumar, Brasil.

fnbassani@gmail.com

Orcid ID 0009-0009-7242-2986

### **Flávia Aparecida Reitz Cardoso**

Professora Doutora, PPGTA e PPGIT - UTFPR, Brasil.

reitz@utfpr.edu.br

Orcid ID 0000-0002-0432-9191

### **Luciana Cristina Soto Herek**

Professora Doutora, PPGTL - Unicesumar e pesquisadora do ICETI, Brasil.

lucianarezende17@gmail.com

Orcid ID 0000-0001-9677-4139

### **Edneia Aparecida de Souza Paccola**

Professora Doutora, PPGTL - Unicesumar e pesquisadora do ICETI, Brasil.

edneia.paccola@unicesumar.edu.br

Orcid ID 0000-0002-3182-3224

Submissão: 04/06/2024

Aceite: 02/09/2024

CARDOSO, Adriano Pereira; BASSANI, Felipe Nakamura; CARDOSO, Flávia Aparecida Reitz; HEREK, Luciana Cristina Soto; PACCOLA, Edneia Aparecida de Souza. Estudos das propriedades mecânicas, físicas e morfológicas em compósitos utilizados na construção civil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 20, n. 5, 2024. DOI: [10.17271/1980082720520245263](https://doi.org/10.17271/1980082720520245263). Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/5263](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5263)

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **Estudos das propriedades mecânicas, físicas e morfológicas em compósitos utilizados na construção civil**

### **RESUMO**

A busca por materiais sustentáveis no setor da construção é crucial devido ao seu significativo impacto ambiental. A tecnologia dos materiais compósitos surge como uma solução, mas enfrenta desafios tecnológicos na formulação e estabilização da mistura para minimizar o impacto ambiental. Este estudo investigou o comportamento ambiental de compósitos feitos com materiais reciclados de madeira e plástico diretamente da indústria. Foram testadas três composições: 100% de plásticos reciclados, 70% de madeira reciclada e 30% de plástico reciclado, e 70% de madeira reciclada e 30% de PVC virgem. Após usinagem para conformidade com as normas dos ensaios mecânicos, os materiais foram submetidos a testes de tração e impacto. Análises estatísticas identificaram as amostras mais resistentes para uso na construção civil. A análise morfológica revelou espaços e aglomerados nas composições, assim como a distribuição e compatibilidade dos materiais de enchimento. O teste de absorção de água determinou que a composição feita apenas com plásticos reciclados teve o melhor desempenho, devido à sua natureza hidrofóbica, em termos de parâmetros mecânicos, físicos e morfológicos. Este estudo destaca a viabilidade de compósitos sustentáveis na construção civil e a importância da seleção adequada dos materiais para alcançar propriedades desejadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade. Materiais compósitos. Materiais recicláveis. Reprocessamento. Comportamento ambiental.

## **Study of Mechanical, Physical, and Morphological Properties of Composites Used in Civil Construction**

### **ABSTRACT**

The search for sustainable materials in the construction sector is crucial due to its significant environmental impact. Composite material technology emerges as a solution but faces technological challenges in formulating and stabilizing mixtures to minimize environmental impact. This study investigated the environmental behavior of composites made from recycled wood and plastic materials directly sourced from the industry. Three compositions were tested: 100% recycled plastics, 70% recycled wood and 30% recycled plastic, and 70% recycled wood and 30% virgin PVC. After machining to comply with mechanical testing standards, the materials underwent tensile and impact tests. Statistical analyses identified the most resistant samples for civil construction applications. Morphological analysis revealed voids and agglomerates in the compositions, as well as the distribution and compatibility of the filler materials. The water absorption test determined that the composition made entirely of recycled plastics performed best due to its hydrophobic nature, in terms of mechanical, physical, and morphological parameters. This study highlights the feasibility of sustainable composites in construction and the importance of proper material selection to achieve the desired properties.

**KEYWORDS:** Sustainability. Composite materials. Recyclable materials. Reprocessing. Environmental behavior.

## **Estudio de las propiedades mecánicas, físicas y morfológicas de compuestos utilizados en la construcción civil**

### **RESUMEN**

La búsqueda de materiales sostenibles en el sector de la construcción es crucial debido a su significativo impacto ambiental. La tecnología de materiales compuestos surge como una solución, pero enfrenta desafíos tecnológicos en la formulación y estabilización de mezclas para minimizar el impacto ambiental. Este estudio investigó el comportamiento ambiental de compuestos fabricados con materiales reciclados de madera y plástico directamente

de la industria. Se probaron tres composiciones: 100% plásticos reciclados, 70% madera reciclada y 30% plástico reciclado, y 70% madera reciclada y 30% PVC virgen. Después del maquinado para cumplir con las normas de los ensayos mecánicos, los materiales fueron sometidos a pruebas de tracción e impacto. Los análisis estadísticos identificaron las muestras más resistentes para aplicaciones en la construcción civil. El análisis morfológico reveló vacíos y aglomerados en las composiciones, así como la distribución y compatibilidad de los materiales de relleno. La prueba de absorción de agua determinó que la composición hecha únicamente de plásticos reciclados mostró el mejor desempeño debido a su naturaleza hidrofóbica, en términos de parámetros mecánicos, físicos y morfológicos. Este estudio resalta la viabilidad de los compuestos sostenibles en la construcción civil y la importancia de una adecuada selección de materiales para lograr las propiedades deseadas.

**PALABRAS CLAVE:** Sostenibilidad. Materiales compuestos. Materiales reciclables. Reprocesamiento. Comportamiento ambiental.

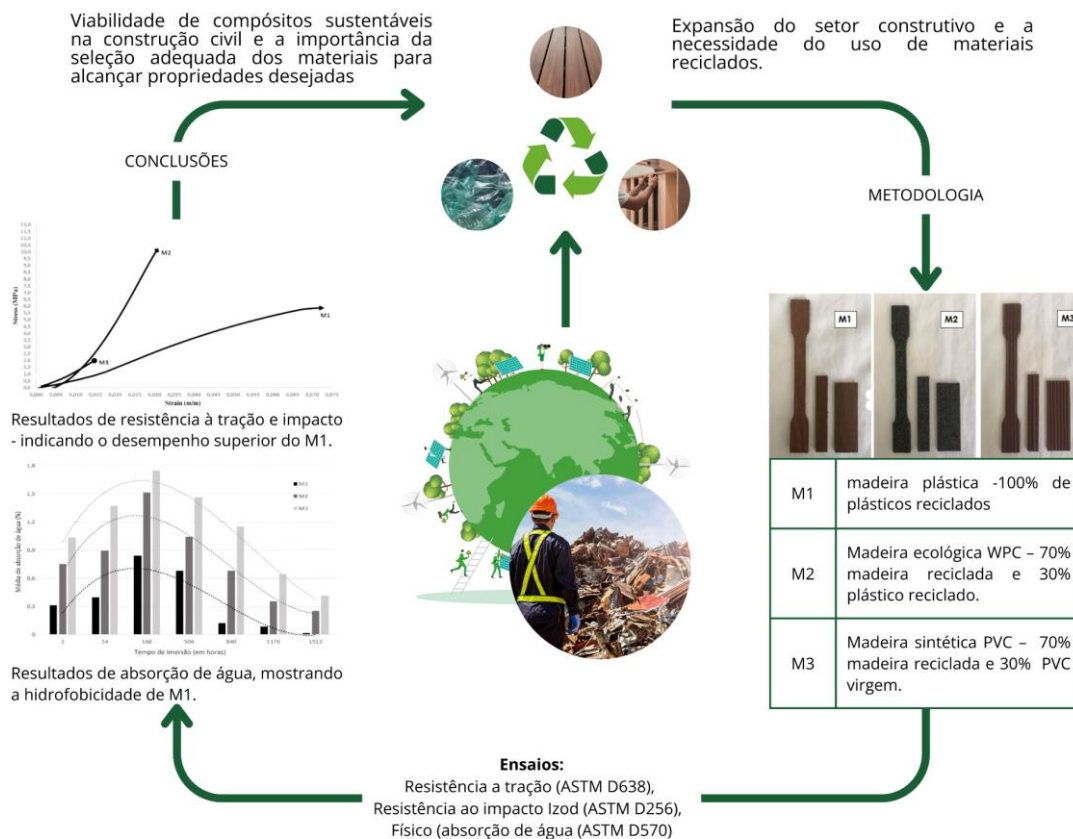
### **Estudio de las propiedades mecánicas, físicas y morfológicas de compuestos utilizados en la construcción civil**

#### **RESUMEN**

La búsqueda de materiales sostenibles en el sector de la construcción es crucial debido a su significativo impacto ambiental. La tecnología de materiales compuestos surge como una solución, pero enfrenta desafíos tecnológicos en la formulación y estabilización de mezclas para minimizar el impacto ambiental. Este estudio investigó el comportamiento ambiental de compuestos fabricados con materiales reciclados de madera y plástico directamente de la industria. Se probaron tres composiciones: 100% plásticos reciclados, 70% madera reciclada y 30% plástico reciclado, y 70% madera reciclada y 30% PVC virgen. Después del maquinado para cumplir con las normas de los ensayos mecánicos, los materiales fueron sometidos a pruebas de tracción e impacto. Los análisis estadísticos identificaron las muestras más resistentes para aplicaciones en la construcción civil. El análisis morfológico reveló vacíos y aglomerados en las composiciones, así como la distribución y compatibilidad de los materiales de relleno. La prueba de absorción de agua determinó que la composición hecha únicamente de plásticos reciclados mostró el mejor desempeño debido a su naturaleza hidrofóbica, en términos de parámetros mecánicos, físicos y morfológicos. Este estudio resalta la viabilidad de los compuestos sostenibles en la construcción civil y la importancia de una adecuada selección de materiales para lograr las propiedades deseadas.

**PALABRAS CLAVE:** Sostenibilidad. Materiales compuestos. Materiales reciclables. Reprocesamiento. Comportamiento ambiental.

### RESUMO GRÁFICO



## 1 INTRODUÇÃO

Nos países em desenvolvimento, a demanda por infraestrutura expandiu significativamente devido ao aumento da população global e ao crescimento acelerado das taxas de urbanização, o que resultou em um aumento exponencial na necessidade de materiais de construção e acabamento, acompanhando o rápido desenvolvimento do setor (CRUZ et al., 2019; HOSSAIN; XU et al., 2019). Além disso, a reconstrução das cidades impulsionou intensas atividades de construção e demolição, onde os resíduos corresponderam a aproximadamente 40% do total de resíduos sólidos no mundo, destacando-se pelo grande volume de descarte e pelo impacto ambiental gerado (ISLAM et al., 2019) o que levou à questões sérias relacionadas a saúde, perda de valor econômico de produtos e mercadorias descartadas, levando a acreditar que a valorização do “lixo” deve ser encarada como uma necessidade e não uma opção (ALSALEM, 2019).

Como grande parte dos resíduos sólidos urbanos são provenientes do setor de construção e demolição, Ghisellini et al. (2016) trouxe à tona o conceito e o modelo de desenvolvimento da economia circular na gestão de resíduos, subsector de grande expansão nos últimos anos, que trata da recuperação de recursos e prevenção de impactos ambientais. Consequentemente, a indústria da construção e toda a cadeia que a envolve é responsável por cerca de 30% de emissões de gases de efeito estufa e grande parcela na produção de resíduos globais, estimado a quase 4 bilhões de toneladas por ano (KAPPENTHULER; SEEGER, 2019).

E com o gerenciamento inadequado de resíduos da construção leva a danos ambientais e perdas econômicas, entretanto, a gestão adequada é crucial para minimizar o impacto, promover a economia circular e criar práticas sustentáveis IORDACHI (2023). Portanto, pensar na sustentabilidade da indústria da construção e o movimento da economia circular já é uma realidade, o que impulsiona a pesquisa da reciclagem e a reutilização, adaptação e adequação dos fluxos de resíduos de construção e demolição (CHEN et al., 2019).

Para haver, de certa forma, um desenvolvimento sustentável da macroeconomia dentro da indústria da construção, tem-se a necessidade de grandes mudanças dos atores que envolvem o setor, com a implantação de políticas mais consistentes que lutem contra aversões à mudança, levando a uma maior produtividade, com qualidade de entrega (CRUZ et al., 2019). Muitas ações vêm sendo tomadas, como o aumento da reciclagem, a reutilização de recursos e a otimização do consumo de matérias-primas, ocupando vários estudos científicos que trabalham com a sustentabilidade do setor da construção, fortalecendo a concepção de construção ecológica (SIDDIQUE et al., 2018; ZHANG et al., 2019; KHAN et al., 2019; WANG et al., 2019).

No entanto, a preocupação com a sustentabilidade precisa ser encarada em todas as etapas, desde o projeto, execução e uso, até a demolição. Nesse sentido, a fabricação eficiente de produtos de construção e acabamento por meio da incorporação de materiais reciclados e/ou reutilização de materiais existentes têm um potencial significativo na economia de recursos naturais e consequentemente, na redução dos efeitos adversos ambientais (KYLILI; FOKAIDES, 2017). Devido à necessidade de ampliação de opções de produtos acabados, a utilização de

compósitos originados de subprodutos é abordada constantemente por governos e autoridades nos mais diversos lugares do mundo (SINGH et al., 2017).

Um composto que vem crescendo rapidamente nos últimos anos é o de madeira e plástico (*Wood-Polymer Composite*, WPC), principalmente na indústria automotiva e aeroespacial, produtos ligados à construção civil, ou bens industriais e de consumo (BI et al., 2018). Estes compósitos são comumente comercializados como componentes externos de edifícios ou de fechamentos e fachadas, como decks, portas, janelas, painéis e outros revestimentos, onde nas matrizes de fabricação, os plásticos mais utilizados são o polietileno (PE) (RAVICHANDRAN et al., 2019), polipropileno (PP) (HAQUE et al., 2019b) e cloreto de polivinila (PVC) (SENHADJI et al., 2019), tanto virgens quanto reciclados. Outras matrizes vêm sendo estudadas com a utilização de termoplásticos como o poliestireno (PS) e acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) (AMBRÓSIO et al., 2019).

A frequente aplicação deste tipo de compósito ligada à construção civil se deve pela sua capacidade de rigidez, poder de reciclagem, baixo custo e densidade, e ótimas propriedades mecânicas, o que leva os pesquisadores a se esforçarem cada vez mais nos estudos para a fabricação de compósitos e maneiras de otimizar ainda mais essas propriedades, pois a aplicação do produto principalmente como revestimento vêm atraindo bastante a atenção nos últimos anos (MIJIYAWA et al., 2015; LEI et al., 2015).

Estudos comprovam grande resistência em compósitos de diferentes tipos de madeira agregado com polipropileno (PP) (BLEDZKI et al., 2015). Fibras e farinhas de madeira, pastas químicas e termomecânicas, demonstraram ótimo desempenho em compósitos utilizando ácido polilático (PLA) e polipropileno (PP) (PELTOLA et al., 2014).

Devido às características variáveis dos diferentes materiais residuais, as propriedades mecânicas e físicas podem ser afetadas. Portanto, este trabalho visa estudar o comportamento ambiental em relação a parâmetros mecânicos, físicos e morfológicos de compósitos fabricados a partir de materiais reciclados em diferentes composições, já comercializados para fins de utilização como decks e fachadas (painéis), apresentando suas capacidades e vulnerabilidades.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Obtenção dos materiais**

Os materiais utilizados como matéria-prima de avaliação foram obtidos por uma distribuidora de compósitos sustentáveis utilizados no setor da construção civil e decoração de ambientes exteriores em geral, localizada na região metropolitana da cidade de São Paulo - SP, Brasil. O produto foi adquirido em formato de réguas, encapsuladas ou maciças, de 3 metros de comprimento, largura entre 10 e 14,5 centímetros, e espessura entre 1,8 e 2,1 centímetros, onde tiveram que passar por processo de usinagem para a confecção dos corpos de prova em atendimento às normas estabelecidas. Assim, para a realização dos procedimentos experimentais foram usinados corpos de prova de três diferentes materiais, encontrados a venda no mercado, denominados aqui como M1, M2 e M3, e descritos conforme Quadro 1.



Quadro 1 - Materiais compósitos comercializados para utilização como revestimento

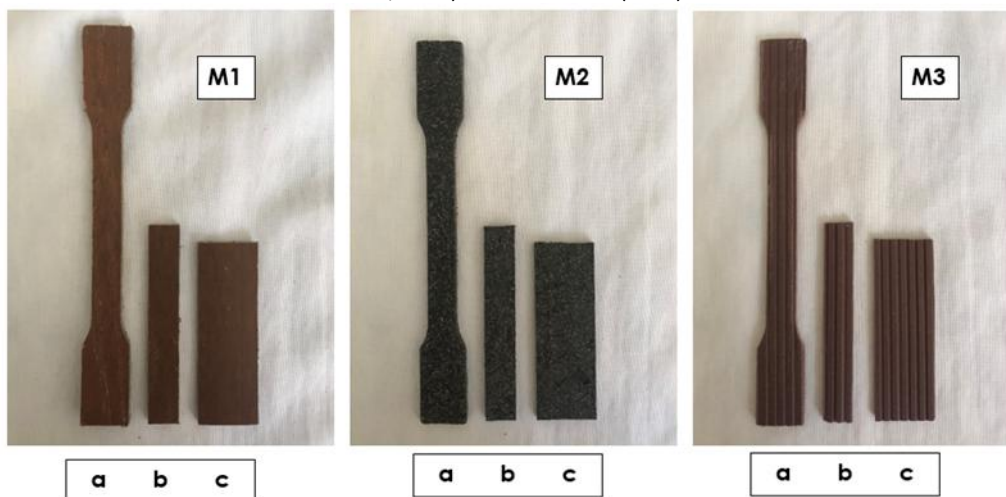
| Denominação do material | Descrição do material  |
|-------------------------|--|
| M1                      | Madeira plástica – material composto com 100% de plásticos reciclados diversos, provenientes de resíduos industriais e residenciais. |
| M2                      | Madeira ecológica WPC – material composto com 70% de madeira reciclada e 30% de plástico reciclado.                                  |
| M3                      | Madeira sintética PVC – material composto com 70% de madeira reciclada e 30% de PVC virgem.  |

Fonte – Os autores (2024).

## 2.2 Preparação das amostras

A partir das réguas adquiridas, foram usinados corpos de prova para a realização de ensaios mecânicos (resistência a tração (ASTM D638), resistência ao impacto Izod (ASTM D256), e físico (absorção de água (ASTM D570), como descritos na Figura 1.

Figura 1 – Materiais de diferentes composições comercializados para fins de revestimento. Corpos de prova para ensaios de resistência à tração (M1-a; M2-a; M3-a), ao impacto (M1-b; M2-b; M3-b), e à absorção de água (M1-c; M2-c; M3-c). Fonte: Autores (2024).



Fonte – Os autores (2024)

Para se obter espessuras desejáveis nas amostras, utilizou-se uma plaina desempenadeira e desengrossadeira de bancada, da marca DEWALT, modelo DW733. Com a espessura correta, conforme normativas para os ensaios mecânicos e físico, as amostras foram modeladas com o auxílio do software Autodesk AutoCAD® 2018, e cortadas utilizando um roteador CNC da marca SEQUOYATEC, modelo ST6090.

Para os ensaios mecânicos foram confeccionados dezoito corpos de prova, sendo oito para o teste de resistência à tração e dez para o teste resistência ao impacto Izod, e para o ensaio

físico, para a absorção de água foram confeccionados mais três corpos de prova. As quantidades mencionadas se referem a cada tipo de material (M1, M2 e M3), que foram usinados e submetidos aos ensaios (Figura 1).

Os corpos de prova para o ensaio de tração tiveram comprimento de 62,8 mm, largura de 9 mm e espessura de 3 mm, com pescoço de 16,15 mm de comprimento e seção quadrada de 3,2 mm. Os corpos de prova para o teste de resistência ao impacto Izod apresentaram formato retangular com dimensões de 84mm de comprimento, 12,8 mm de largura e 3 mm de espessura. Os corpos de prova que foram submetidos aos testes de absorção de água também apresentaram formato retangular, porém com dimensões de 76,2 mm de comprimento, 25,4 mm de largura e 3 mm de espessura.

Para a preparação dos corpos de prova a partir das réguas adquiridas foi considerada uma perda de aproximadamente 25-30% durante o processo de usinagem, devido aos formatos de amostras exigidos pelas normas e equipamentos utilizados.

### **2.3 Propriedades mecânicas**

Para o ensaio de resistência a tração os corpos foram usinados no formato gravata (Figura 1a), e realizado conforme a norma ASTM D638, a qual estabelece os critérios para os materiais plásticos, com o equipamento de máquina universal de ensaios EMIC DL10000, submetido a uma célula de carga de 5 kN com velocidade de 50 mm/min em temperatura ambiente.

O teste de impacto Izod seguiu o descrito na norma ASTM D256 (Figura 1b), a qual determina os requisitos para materiais plásticos. Foi utilizado o equipamento CEAST modelo Resil Impactor Junior com um pêndulo de 2,75J em temperatura ambiente.

### **2.4 Propriedades físicas**

O teste de absorção de água foi realizado conforme ASTM D570. Antes do teste, três amostras de cada material usinado (M1, M2 e M3), totalizando nove amostras, foram secas em estufa de esterilização e secagem analógica por 1 hora a  $107 \pm 3^\circ\text{C}$ . O peso das amostras secas foi medido com uma precisão de 0,001g, com uma balança analítica da marca SHIMADZU, modelo AUY-220. As amostras condicionadas foram colocadas em recipiente plástico e se apresentaram totalmente imersas em água destilada, mantidas em temperatura constante de  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  por 63 dias, controlada por equipamento universal de banho maria digital da marca SOLIDSTEEL, modelo SSD 15L, com cuba e grade interna em aço inox AISI 304 estampado e polido.

Com sete pesagens consecutivas, no final de  $2 \pm 0,17$  h,  $24 \pm 1$  h,  $168 \pm 1$  h,  $504 \pm 1$  h,  $840 \pm 1$  h,  $1176 \pm 1$  h, e  $1512 \pm 1$  h, as amostras foram removidas da água, uma de cada vez, toda a água da superfície foi limpa, retirando o excesso com o auxílio de papel toalha e pesada imediatamente. Três repetições de cada corpo de prova foram testadas e seus valores médios foram relatados. O valor da absorção de água em porcentagem foi calculado usando a seguinte Equação (1):



$$WA_t(\%) = \left( \frac{W_t - W_0}{W_0} \right) \times 100, \quad (1)$$

onde  $WA_t$  é a absorção de água (%) no tempo  $t$ ,  $W_0$  é o peso seco no forno e  $W_t$  é o peso da amostra em um determinado tempo de imersão.

## 2.5 Propriedades morfológicas

Ainda, a partir da fratura dos corpos de prova submetidos ao teste de resistência ao impacto Izod, após tratamento prévio com ouro, foram analisadas as superfícies dessas amostras por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando um equipamento QUANTA 250 da marca FEI, operando a 10kV, a fim de observar e analisar características microestruturais dos materiais de estudo. As análises foram realizadas no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP/UEM).

## 2.6 Análises estatísticas

No intuito de verificar o material compósito dentre os três abordados nesse trabalho teve maior resistência a situações cotidianas de uso na construção civil, testou-se mecanicamente a resistência à tração (ASTM D638) e a resistência ao impacto (ASTM D256). Dos ensaios, oito e dez corpos de prova foram obtidos, respectivamente, e da necessidade de se utilizar apenas cinco corpos de prova para cada análise, optou-se por realizar a análise da distância de Cook. Após a determinação dos valores dos cinco corpos de prova, aplicou-se a análise de variância com auxílio do teste de Tukey para verificar se existiam diferenças significativas entre as amostras ao nível de significância de 5%.

Por fim, objetivando verificar o quanto as composições dos materiais proporcionaram uma boa resistência à tração e ao impacto segundo as normas mencionadas, empregou-se a função “desejabilidade” que, com base nos valores reais determinados pelas análises mecânicas, pretende encontrar uma mistura otimizada de compósitos. Tal método consiste em aplicar para cada “variável resposta”, um valor adimensional que representa a sua desejabilidade individual ( $d_i$ ), expressa pela Equação (2):

$$D = \sqrt[m]{d_1 d_2 d_3 \dots d_m}, \quad (2)$$

com  $D$  sendo a desejabilidade global,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  e  $d_m$  são as desejabilidades individuais e  $m$  é o número de variáveis respostas.

A otimização foi analisada levando em consideração a Equação (3):

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 1 & \text{se } y_i(x) < L_i \\ \left[ \frac{U_i - y_i(x)}{U_i - L_i} \right]^t & \\ 0 & \text{se } y_i(x) > U_i \end{cases} \quad (3)$$

Em relação à Equação (3)  $y_i$  é a resposta obtida para a variável estudada,  $d_i(y_i)$  é a desejabilidade individual da resposta  $y_i$ ,  $U_i$  é o maior valor aceitável adotado para a resposta,  $L_i$

é o menor valor aceitável adotado para a resposta e  $t$  é o fator que determina o quão é desejável  $y_i$  ser próximo do mínimo, variando de 0 a 1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

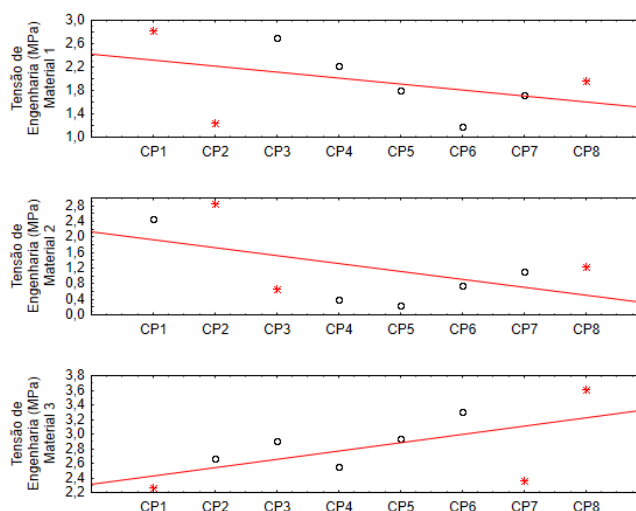
#### 3.1 Propriedades mecânicas

Como as normas preveem que haja análise mecânica de cinco corpos de prova para cada material, optou-se por realizar a análise da distância de Cook cujo objetivo é eliminar os “pontos fora da curva” que poderiam influenciar indevidamente uma análise de regressão.

Os resultados para os compósitos analisados mecanicamente em relação a tração (ASTM D688) estão apresentados na Figura 2 e ao impacto (ASTM D256) estão apresentados na Figura 3, demonstrando que nenhuma das distâncias de Cook foi  $\geq 1$ . Assim, optou-se por eliminar as três maiores distâncias de cada material tratado (M1, M2 e M3) com relação ao ensaio de resistência a tração, e para as amostras utilizadas no ensaio de resistência ao impacto foram eliminadas as cinco maiores distâncias.

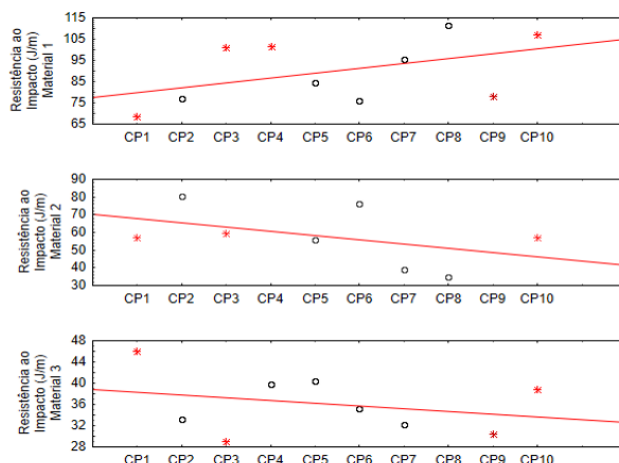
Para Cook e Weisberg (1982), se um ponto é um significativo valor atípico em Y, mas a sua distância de Cook é menor do que um, não existe motivo real para eliminar esse ponto, uma vez que ele não apresenta um grande efeito na análise de regressão. Contudo, existe ainda o interesse de estudar tal ponto para tentar entender por que ele não está aderindo ao modelo.

Figura 2 - Análise e eliminação da ruptura dos corpos de prova com relação à tração (ASTM D638) pela distância de Cook



Fonte – Os autores (2024)

Figura 3 - Análise e eliminação da ruptura dos corpos de prova com relação ao impacto (ASTM D256) pela distância de Cook



Fonte – Os autores (2024)

Os corpos de prova para as medidas de resistência a tração (ASTM D638) e resistência impacto (ASTM D256) e suas respectivas distâncias se encontram distribuídos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Após a determinação dos corpos de prova que permaneceriam nas análises foi elaborada uma curva (Figura 4) com a média de todos os corpos de prova de tal modo que se possa verificar qual a resistência ao impacto e à tração na tensão que cada amostra sofreu para os três tipos de materiais. Em seguida, aplicou-se a análise de variância com auxílio do teste de *Tukey* para verificar se existiam diferenças significativas entre as amostras ao nível de significância de 5%. Ainda, os resultados das médias e dos desvios padrões para a resistência à tração e ao impacto dos três materiais testados encontram-se na Tabela 3, onde, segundo os dados apresentados, é possível verificar que não existem diferenças significativas entre os materiais ao nível de significância de 5%.

Tabela 1 - Distância de Cook para o ensaio de resistência à tração (ASTM D638) para os compósitos 100% plástico (M1), 70% madeira e 30% plástico reciclados (M2) e 70% madeira reciclada e 30% PVC virgem

| Corpos de prova | Distância de Cook | Corpos de prova | Distância de Cook | Corpos de prova | Distância de Cook |
|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| <b>M1</b>       |                   | <b>M2</b>       |                   | <b>M3</b>       |                   |
| CP 1            | --                | CP 1            | 0,195885          | CP 1            | --                |
| CP 2            | --                | CP 2            | --                | CP 2            | 0,025024          |
| CP 3            | 0,141627          | CP 3            | --                | CP 3            | 0,071639          |
| CP 4            | 0,015585          | CP 4            | 0,07997           | CP 4            | 0,034677          |
| CP 5            | 0,001661          | CP 5            | 0,082948          | CP 5            | 0,000737          |
| CP 6            | 0,14641           | CP 6            | 0,002275          | CP 6            | 0,076789          |
| CP 7            | 0,000071          | CP 7            | 0,061             | CP 7            | --                |
| CP 8            | --                | CP 8            | --                | CP 8            | --                |

-- representam corpos de prova eliminados.

Fonte – Os autores (2024)

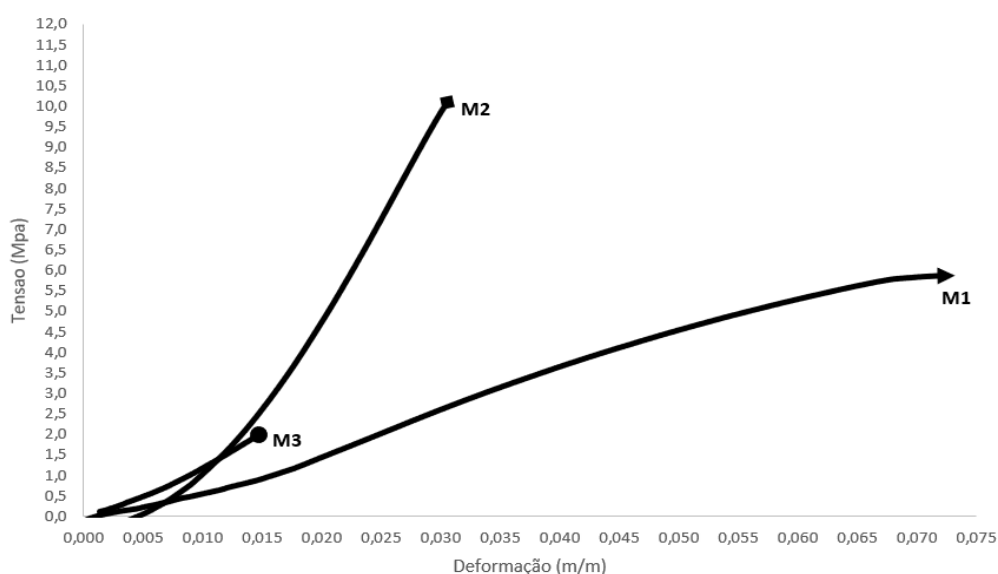
Tabela 2 - Distância de Cook para ensaio de resistência ao impacto (ASTM D256) para os compósitos 100% plástico (M1), 70% madeira e 30% plástico reciclados (M2) e 70% madeira reciclada e 30% PVC virgem

| Corpos de prova<br><b>M1</b> | Distância de<br>Cook | Corpos de prova<br><b>M2</b> | Distância de<br>Cook | Corpos de prova<br><b>M3</b> | Distância de<br>Cook |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| CP 1                         | --                   | CP 1                         | --                   | CP 1                         | --                   |
| CP 2                         | 0,027403             | CP 2                         | 0,007301             | CP 2                         | 0,140903             |
| CP 3                         | --                   | CP 3                         | --                   | CP 3                         | --                   |
| CP 4                         | --                   | CP 4                         | --                   | CP 4                         | 0,025589             |
| CP 5                         | 0,005899             | CP 5                         | 0,002109             | CP 5                         | 0,038905             |
| CP 6                         | 0,076146             | CP 6                         | 0,165436             | CP 6                         | 0,000591             |
| CP 7                         | 0,00128              | CP 7                         | 0,111378             | CP 7                         | 0,029704             |
| CP 8                         | 0,090596             | CP 8                         | 0,233818             | CP 8                         | --                   |
| CP 9                         | --                   | CP 9                         | --                   | CP 9                         | --                   |
| CP 10                        | --                   | CP 10                        | --                   | CP 10                        | --                   |

-- representam corpos de prova eliminados.

Fonte – Os autores (2024)

Figura 4 - Análise de ruptura para os corpos de prova de todas as amostras quanto a resistência à tração e ao impacto. M1 = plástico reciclado; M2 = plástico e madeira reciclados; M3 = madeira reciclada e PVC virgem



Fonte – Os autores (2024)

Tabela 3 - Médias e desvios padrões dos materiais testados

| Amostras | Resistência à Tração      | Resistência ao Impacto     |
|----------|---------------------------|----------------------------|
|          | (MPa)                     | (J/m)                      |
| M 1      | 7,12 <sup>b</sup> ± 0,56  | 84,66 <sup>a</sup> ± 13,26 |
| M 2      | 16,09 <sup>a</sup> ± 1,05 | 55,68 <sup>b</sup> ± 16,86 |
| M 3      | 5,75 <sup>b</sup> ± 0,72  | 35,22 <sup>c</sup> ± 3,76  |

Sobrescritos iguais na mesma coluna, para a mesma variável resposta, indicam médias sem diferença estatisticamente significativa com 5% no Teste de Tukey. M1 = plástico reciclado; M2 = plástico e madeira reciclados; M3 = madeira reciclada e PVC virgem.

Fonte – Os autores (2024)

Conforme representado na Figura 4 e descritos na Tabela 3, dentre os três materiais analisados, a menor resistência a tração se refere ao material 3, e a maior resistência ao material 2. Quando adicionado a madeira reciclada na composição, o módulo de tração aumentou em comparação aos compósitos de plásticos reciclados (M1) e de madeira reciclada e PVC virgem (M3). Isso pode ser atribuído a melhor rigidez das fibras de madeira na incorporação, uma vez que o material chega a suportar uma tensão duas vezes maior do que àquele feito somente de plástico reciclado.

Os estudos de Lei et al. (2015) em compósitos de madeira e adições de melamina, substância utilizada na fabricação de plásticos, provou que a resistência a tração foi aumentada inicialmente, diminuindo à medida que substância era incorporada, indicando um máximo de 3% em peso com efeito positivo. Isso ocorre devido à junção dos materiais madeira e plástico, que levou a uma melhor eficiência da transferência de tensão da matriz para o material de enchimento e à melhoria da resistência à tração.

Najafi e colaboradores (2006) estudaram compósitos feitos de serragem aglomerados com polipropileno (PP) e polietileno (PE) reciclados e descobriram que as propriedades mecânicas dos materiais eram semelhantes estatisticamente com aqueles feitos de plásticos virgens, confirmando que a utilização do material reciclado não interfere em grande escala na qualidade final do material.

Outro compósito foi analisado contendo frações de madeira, filmes plásticos, papelão e lã mineral em relação a um material de referência, feito apenas com fibras de madeira e PP como polímero, mostrando que o primeiro, com mais adições aglomeradas enfraqueceu as propriedades mecânicas entre 10 e 25%, dependendo do conteúdo de carga dos resíduos no compósito (HYVÄRINEN et al., 2019).

Em um estudo de Moreno e Saron (2017), a resistência à tração do compósito feito a partir de resíduos de madeira de pinho e PE reciclados com 30% em peso de carga, foi medida em 12,3 MPa, valor próximo ao identificado no material 2, que contém os mesmos 30% de plástico reciclado. Igualmente, Ebadi et al. (2016) verificou baixa variação da resistência à tração em compósitos fabricados a partir de PE de baixa densidade com até 30% de adição. Ainda, Turku et al. (2017) em seus estudos comprovaram que amostras moldadas por injeção a partir de misturas de polímeros (plásticos reciclados) apresentaram maior resistência e rigidez em

comparação com a amostra produzida a partir do PE comercial (plástico virgem), onde a resistência à tração variava na faixa de 10 a 12,5 MPa.

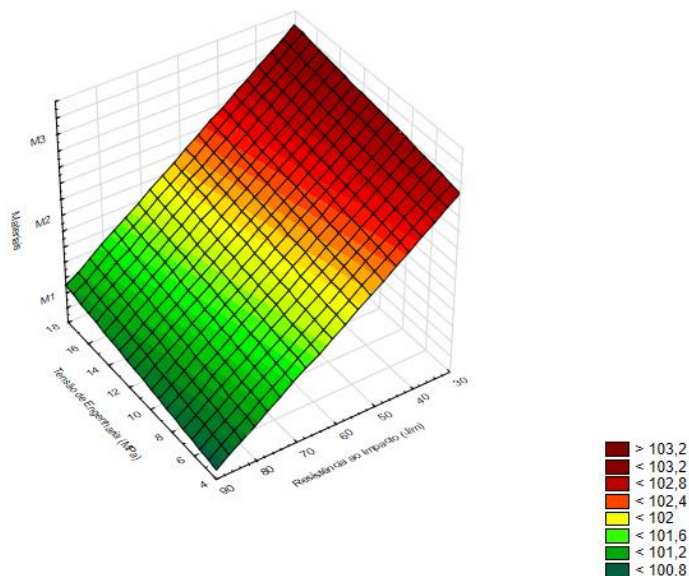
A escolha do tipo de plástico afeta significativamente a resistência do material compósito. Um exemplo é a utilização do poliestireno (PS), atingiram em estudos resistência à tração em 23,12 MPa, enquanto na utilização de PE foi obtida a resistência de 7,39 MPa. Além disso, o conteúdo de plástico também afeta significativamente a resistência dos materiais, onde valores de utilização acima de 50% apresentaram melhor estabilidade, sendo que a aplicação do PS e do PP têm propriedades mecânicas mais altas do que o PVC virgem (RATANAWILAI; TANEERAT, 2018).

Com relação ao impacto, o maior valor identificado foi para o M1 e o menor valor para o M3 (Tabela 3). Assim, o compósito atribuído somente com plástico reciclado mostrou adequada resistência a deformações e rupturas em relação à norma ASTM D256, chegando a suportar pesos duas vezes superiores quando comparados aos compósitos de madeira e plástico reciclados (M2), e quatro vezes superiores aos de madeira reciclada com PVC virgem (M3), o que corrobora os estudos feitos por Hyvärinen et al. (2019), onde uma quantidade maior de materiais plásticos reciclados utilizados, resultou em um maior valor de resistência ao impacto, comparado aos demais compósitos testados. Foi realizado o teste de impacto Izod em amostras de compósitos processados de PP puros incorporados com farinha de madeira em 25%, verificando-se redução da resistência. Essa queda na resistência indica que os compósitos de PP e madeira se tornam quebradiços ou menos dúcteis, o que confirma o resultado apresentado por M1, composto somente de plástico, mesmo que reciclados, com maior índice ao comportamento do teste de impacto (HAQUE et al., 2019a).

Pode-se observar ainda que os compósitos exibiram alongamentos bem diferentes no efeito de ruptura (Figura 4), onde apresenta comportamento frágil com diminuição acentuada na adição do PVC virgem (M3) na composição, em comparação aos outros materiais estudados, revelando deformação linear, um dos comportamentos característicos presentes em materiais compósitos (CALLISTER, 2012). Pela Figura 5 é possível visualizar que a resistência total foi proporcional para o material 3, aquele composto por madeira reciclada e PVC virgem, ou seja, o menor valor identificado tanto para a resistência à tração quanto para a resistência ao impacto, mostrando que cargas elevadas atribuídas sobre o compósito de M3 pode causar ruptura em pequeno intervalo de tempo. Nukala et al. (2022), verificaram que os compósitos de polímero de madeira produzidos exibiram uma propriedade física comparável ao polímero virgem e à madeira e poderiam ser potencialmente usados para vários materiais estruturais.



Figura 5 - Superfície de resposta para os três materiais e a relação com a deformação e a tensão. M1 = plástico reciclado; M2 = plástico e madeira reciclados; M3 = madeira reciclada e PVC virgem



Fonte – Os autores (2024)

Quando se trata de resultados mecânicos, é preciso avaliar o tipo de material incorporado ao compósito e de que forma ele foi realizado. Dentre outros fatores, qualificar os materiais empregados influencia na forma em que o compósito se comporta mecanicamente (TODKAR; PATIL, 2019).

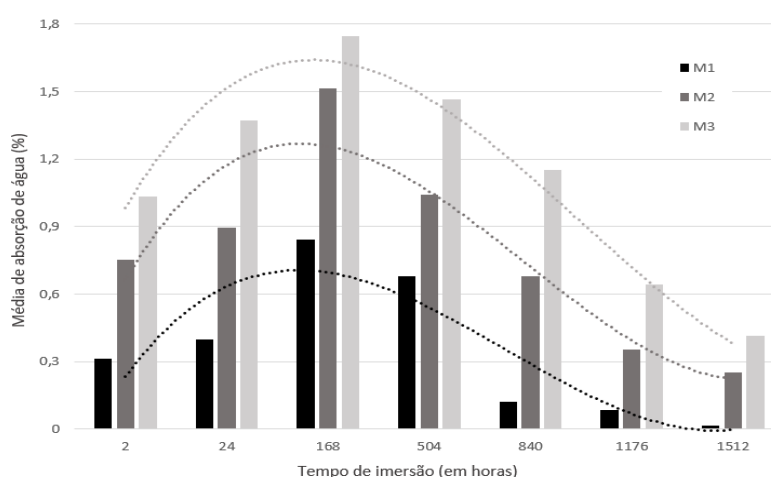
### 3.2 Propriedades de absorção de água

O teste de absorção de água aplicado foi importante para investigar o comportamento do material e a sua durabilidade quando exposto às condições ambientais, ainda mais quando esse tipo de material é comumente utilizado em áreas de lazer como decks de piscinas, onde a exposição a intempéries é constante.

Os resultados da absorção de água dos três tipos de materiais (M1, M2 e M3) após imersão em água destilada por sessenta e três dias, foram mostrados na Figura 6. Segundo a norma ASTM D570 que testa a absorção de água em materiais plásticos, a amostra é considerada saturada quando o aumento do peso total é inferior a 1% em relação ao peso anterior anotado, a partir de uma semana de imersão, ou cento e sessenta e oito horas. Dessa forma, observa-se que M1 absorveu pouca umidade devido à sua natureza hidrofóbica, por se tratar de um material composto apenas por plásticos reciclados, tendo seu ápice de absorção (abaixo de 1%) em uma semana, sem encharcamento posterior considerável, mostrando notória capacidade de repelir água e retornar em seu estágio inicial. Este comportamento foi apresentado no trabalho de Faure et al. (2019), onde os autores avaliaram o grau de absorção de água em compósitos de madeira e plásticos utilizados em decks, em diferentes tamanhos e espessuras, e em tempos de imersão diferentes, comprovando diferentes desempenhos.

No entanto, nos materiais M2 e M3 a quantidade de absorção de água aumentou gradativamente com a incorporação da madeira em suas composições, sendo atribuído, principalmente, ao componente hidrofílico presente na madeira e os espaços vazios que possibilitam retenção de líquido e inchamento da peça. Como nesses dois tipos de materiais o conteúdo de madeira é maior do que o de plástico, as lacunas entre os dois componentes são maiores, o que aumenta a dificuldade em cobrir os vácuos existentes, enfraquecendo a ligação compartilhada entre madeira e plástico, observados na Figura 6.

Figura 6 - Comparação das médias de absorção de água para os materiais testados. M1 = plástico reciclado; M2 = plástico e madeira reciclados; M3 = madeira reciclada e PVC virgem



Fonte – Os autores (2024)

Um estudo realizado por Hosseinihashemi et al. (2016) comprovou que a presença de um menor número de vazios em compósitos termoplásticos ajuda a tornar o material menos acessível para a absorção de umidade devido à redução das ligações de hidrogênio entre grupos, principalmente da madeira e das moléculas de água.

Em uma avaliação realizada com compósitos de plástico e juta constatou que uma maior quantidade da fibra em relação ao plástico exibiu tendência ao aumento de absorção de água em teste de imersão no período de duas e vinte e quatro horas, tendo expressiva variação para menor absorção quando a porcentagem de plástico era aumentada (BALAN; RAVICHANDRAN, 2019).

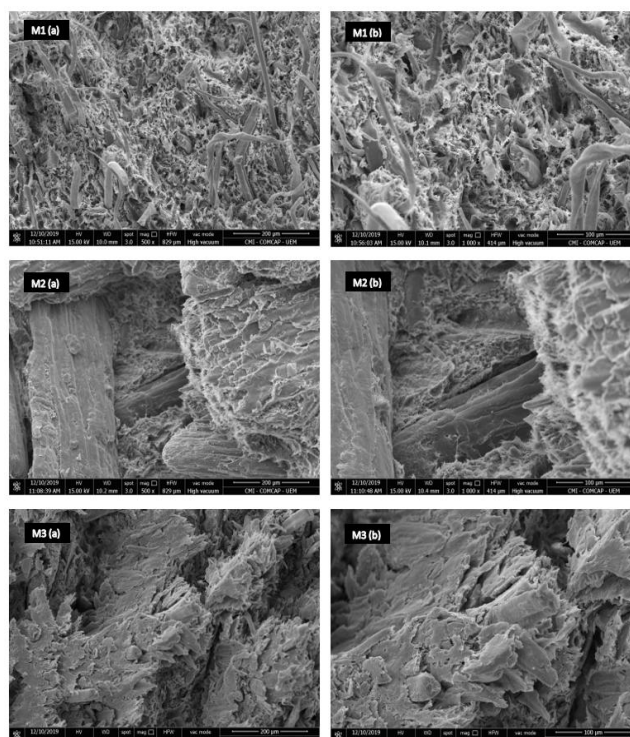
Youssef et al. (2019) estudaram compósitos de madeira e plástico em diferentes composições e observaram que o comportamento hidrofóbico do material aumentava quando a quantidade de plástico na estrutura era maior, esclarecendo que o maior teor de madeira carregava um inchamento mais acentuado na amostra, com maior peso e espessura, o que confirma o teste realizado nas amostras, comparando M1, composto apenas de plásticos, com M2 e M3, que continham madeira na composição, o primeiro teve melhor desempenho à não absorção de água, sem inchamento considerável.

### 3.3 Análise morfológica

A microestrutura da superfície de fratura nos corpos de prova das amostras dos compósitos após os testes de impacto foi examinada usando a microscopia eletrônica de varredura (MEV), disposta na Figura 7, para os três materiais testados.

Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura de microestruturas dos fragmentos dos compósitos após o teste de impacto. M1: plástico reciclado; M2: plástico e madeira reciclados e M3: madeira reciclada e PVC virgem.

Unidade Micra: 200µm (a) e 100µm (b), respectivamente.



Fonte – Os autores (2024)

É possível observar que apesar de os três materiais apresentarem espaços em suas composições, M1 expõe em sua estrutura um maior aglomerado em massa, o que faz torná-lo mais resistente à ruptura por impacto e à absorção de líquidos. Os grandes espaços estão mais evidentes em M2 e M3 por apresentarem a madeira em sua base, danificando as propriedades mecânicas e físicas dos compósitos. Por meio do estudo de MEV foi possível encontrar a distribuição e compatibilidade entre os enchimentos dos compósitos que se analisado, M2 apresenta formatos de placas empilhadas, o que resultaria em um aumento parcial da resistência mecânica do material, comprovado pelo teste de resistência à tração (Figura 4).

As fissuras podem ser facilmente encontradas entre madeira e plástico, podendo ser atribuídos à natureza hidrofílica da madeira e baixa adesão com o plástico, gerando cavidades e/ou rachaduras que acelerariam a absorção de água e reduziriam as propriedades mecânicas, mostrando que a madeira incorporada ao plástico tende a ser sensível durante as etapas de processamento do compósito, onde o comprimento da fibra reduz afetando na dispersão e orientação das fibras, o que pode ser atribuído às altas temperaturas e forças durante o processo de moldagem dos materiais (LEI et al., 2015).

#### 4 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa realizada tem-se que o compósito que contém 100% plástico reciclado apresentou melhor desempenho mecânico devido à sua capacidade hidrofóbica, comprovada pelo teste de absorção de água. O teste de impacto apresentou resultados satisfatórios suportando tensões maiores em relação aos outros materiais estudados. Ainda assim, ao exercer sua função ecológica, o composto M1 é desenvolvido em sua totalidade por material reciclado, o que corrobora para a minimização de resíduos descartados no meio ambiente, principalmente quando se trata do plástico. Desta forma, compósitos oriundos de material reciclado como o plástico, podem ter inúmeras funções e empregos no cotidiano e principalmente dentro do setor da construção civil, mais especificamente como material de revestimento e com maior credibilidade de uso a partir das análises desenvolvidas, uma vez que as informações técnicas de comportamento do material são pouco acessíveis para o consumidor comum.

Com isso, faz-se necessário a pesquisa e desenvolvimento de produtos modificados que, ao mesmo tempo que colaboram com a proteção e preservação ambiental, façam uso de resíduos como forma de reutilização e valorização dos resíduos sólidos. Neste sentido, a utilização de resíduos na formulação de compósitos contribui fortemente no desenvolvimento sustentável e cuidado com o meio ambiente.

A implementação de material reciclado para uso na construção civil como substituto de materiais oriundos de fontes de recursos naturais é possível, considerando as propriedades mecânicas, físicas e morfológicas apresentadas aqui nesta pesquisa, para contribuir para a viabilidade econômica da produção em escala industrial. A utilização de uma matéria-prima que visa a sustentabilidade, contribui para que todo o processo produtivo tenha uma produção mais limpa e contribua para a redução do impacto ambiental.

#### REFERÊNCIAS

- AL-SALEM, S. M. Influential parameters on natural weathering under harsh climatic conditions of mechanically recycled plastic film specimens. **Journal of Environmental Management**, v. 230, p. 355–365, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.044>.
- AMBRÓSIO, J. D.; SÔNEGO, M.; STAFFA, L. H.; CHINELATTO, M. A. et al. Characterization of flexible Poly (vinyl butyral)/wood flour composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 175, p. 107118, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107118>.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. West Conshohocken, PA., 2010.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D570: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken, PA., 2010.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, PA., 2014.
- BALAN, G. S.; RAVICHANDRAN, M. Study of moisture absorption characteristics of jute fiber reinforced waste plastic filled polymer composite. **Materials Today: Proceedings**, v. 27, p. 712–717, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.260>.



- BI, H.; REN, Z.; GUO, R.; XU, M. et al. Fabrication of flexible wood flour/thermoplastic polyurethane elastomer composites using fused deposition molding. **Industrial Crops and Products**, v. 122, p. 76–84, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.059>.
- BLEDZKI, A. K.; FRANCISZCZAK, P.; MELJON, A. High performance hybrid PP and PLA biocomposites reinforced with short man-made cellulose fibres and softwood flour. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 74, p. 132–139, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.03.029>.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. John Wiley & Sons, 2012.
- CHEN, W.; JIN, R.; XU, Y.; WANATOWSKI, D. et al. Adopting recycled aggregates as sustainable construction materials: A review of the scientific literature. **Construction and Building Materials**, v. 218, p. 483–496, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.130>.
- COOK, R. D.; WEISBERG, S. **Residuals influence in regression**. New York: Chapman & Hall, 1982.
- CRUZ, C. O.; GASPAR, P.; DE BRITO, J. On the concept of sustainable sustainability: An application to the Portuguese construction sector. **Journal of Building Engineering**, v. 25, p. 100836, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100836>.
- EBADI, M.; FARSI, M.; NARCHIN, P.; MADHOUSHI, M. The effect of beverage storage packets (Tetra Pak™) waste on mechanical properties of wood–plastic composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 29, n. 12, p. 1601–1610, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/0892705715618745>.
- FAURE, F.; PERROT, A.; PIMBERT, S.; LECOMPTE, T. Water absorption measurements on WPCs: Assessment of size and direction dependencies in order to design fast and accurate quality control tests. **Polymer Testing**, v. 77, p. 105899, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105899>.
- GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11–32, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- HAQUE, M. M.-U.; GODA, K.; ITO, H.; OGOE, S. et al. Melt-viscosity and mechanical behaviour of polypropylene (PP)/wood flour composites: effect of pulverization of wood flour with and without water. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 2, n. 1, p. 42–50, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2018.11.001>.
- HAQUE, M. M.-U.; GODA, K.; OGOE, S.; SUNAGA, Y. Fatigue analysis and fatigue reliability of polypropylene/wood flour composites. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 2, n. 3, p. 136–142, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.07.001>.
- HOSSAIN, M. U.; THOMAS NG, S. Influence of waste materials on buildings' life cycle environmental impacts: Adopting resource recovery principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 142, p. 10–23, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.010>.
- HOSSEINIHASHEMI, S. K.; ARWINFAR, F.; NAJAFI, A.; NEMLI, G. et al. Long-term water absorption behavior of thermoplastic composites produced with thermally treated wood. **Measurement**, v. 86, p. 202–208, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.02.058>.
- HYVÄRINEN, M.; RONKANEN, M.; KÄRKI, T. The effect of the use of construction and demolition waste on the mechanical and moisture properties of a wood-plastic composite. **Composite Structures**, v. 210, p. 321–326, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.11.063>.
- IORDACHI, V. Sustainable construction waste management - challenges and opportunities in promoting the circular economy. **Economic Growth in the Conditions of Globalization**, vol. II, 2023. DOI: 10.36004/nier.cecg.iii.2023.17.10.
- ISLAM, R.; NAZIFA, T. H.; YUNIARTO, A.; SHANAWAZ UDDIN, A. S. M. et al. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. **Waste Management**, v. 95, p. 10–21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>.
- KAPPENTHULER, S.; SEEGER, S. From resources to research - a framework for identification and prioritization of materials research for sustainable construction. **Materials Today Sustainability**, v. 7–8, p. 100009, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100009>.
- KHAN, Q. S.; SHEIKH, M. N.; MCCARTHY, T. J.; ROBATI, M. et al. Experimental investigation on foam concrete without and with recycled glass powder: a sustainable solution for future construction. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 369–379, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.178>.

- KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A. Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 280–288, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.013>.
- LEI, B.; ZHANG, Y.; HE, Y.; XIE, Y. et al. Preparation and characterization of wood-plastic composite reinforced by graphitic carbon nitride. **Materials & Design (1980–2015)**, v. 66, p. 103–109, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.10.041>.
- MIJIYAWA, F.; KOFFI, D.; KOKTA, B. V.; ERCHQUI, F. Formulation and tensile characterization of wood-plastic composites: Polypropylene reinforced by birch and aspen fibers for gear applications. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 28, n. 12, p. 1675–1692, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/0892705714563120>.
- MORENO, D. D. P.; SARON, C. Low-density polyethylene waste/recycled wood composites. **Composite Structures**, v. 176, p. 1152–1157, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.05.076>.
- NAJAFI, S. K.; HAMIDINIA, E.; TAJVIDI, M. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 100, n. 5, p. 3641–3645, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.23159>.
- NUKALA, S. G.; KONG, I.; KAKARLA, A. B.; TSHAI, K. Y.; KONG, W. Preparation and Characterisation of Wood Polymer Composites Using Sustainable Raw Materials. **Polymers**, v. 14, n. 15, p. 1–18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14153183>.
- RATANAWILAI, T.; TANEERAT, K. Alternative polymeric matrices for wood-plastic composites: Effects on mechanical properties and resistance to natural weathering. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 349–357, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.266>.
- RAVICHANDRAN, S.; VENGATESAN, E.; RAMAKRISHNAN, A. S. Synthesis and dynamic mechanical analysis of fiber reinforced low-density polyethylene hybrid polymer composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 27, p. 177–180, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.216>.
- PELTOLA, H.; PÄÄKKÖNEN, E.; JETSU, P.; HEINEMANN, S. Wood based PLA and PP composites: Effect of fibre type and matrix polymer on fibre morphology, dispersion and composite properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 61, p. 13–22, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.02.002>.
- SENHADJI, Y.; SIAD, H.; ESCADEILLAS, G.; BENOSMAN, A. S. et al. Physical, mechanical and thermal properties of lightweight composite mortars containing recycled polyvinyl chloride. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 198–207, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.070>.
- SIDDIQUE, R.; SINGH, G.; SINGH, M. Recycle option for metallurgical by-product (Spent Foundry Sand) in green concrete for sustainable construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1111–1120, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.255>.
- SINGH, N.; HUI, D.; SINGH, R.; AHUJA, I. P. S. et al. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. **Composites Part B: Engineering**, v. 115, p. 409–422, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>.
- TODKAR, S. S.; PATIL, S. A. Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, p. 106927, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106927>.
- TURKU, I.; KESKISAARI, A.; KÄRKI, T.; PUURTINEN, A. et al. Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends. **Composite Structures**, v. 161, p. 469–476, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.073>.
- WANG, X.; YU, R.; SHUI, Z.; SONG, Q.; LIU, Z.; BAO, M.; LIU, Z.; WU, S. Optimized treatment of recycled construction and demolition waste in developing sustainable ultra-high performance concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, p. 805–816, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.201>.
- XU, X.; WANG, Y.; TAO, L. Comprehensive evaluation of sustainable development of regional construction industry in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 1078–1087, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.248>.
- YOUSSEF, A. M.; HASANIN, M. S.; ABD EL-AZIZ, M. E.; DARWESH, O. M. Green, economic, and partially biodegradable wood plastic composites via enzymatic surface modification of lignocellulosic fibers. **Heliyon**, v. 5, n. 3, p. e01332, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01332>.



ZHANG, L. W.; SOJOBI, A. O.; LIEW, K. M. Sustainable CFRP-reinforced recycled concrete for cleaner eco-friendly construction. *Journal of Cleaner Production*, v. 233, p. 56–75, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.025>.

---

## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** A profª Drª Luciana Cristina Soto Herek e a profª Drª Edneia Aparecida de Souza Paccola que tiveram a ideia central do estudo e ajudaram a definir os objetivos e a metodologia.
  - **Curadoria de Dados:** Ms Adriano Pereira Cardoso e o Felipe Nakamura Bassani organizaram e verificaram os dados para garantir sua qualidade.
  - **Análise Formal:** A profª Drª Luciana Cristina Soto Herek e profª Drª Flávia Aparecida Reitz Cardoso que realizaram as análises dos dados, aplicando métodos específicos.
  - **Aquisição de Financiamento:** o trabalho não possui recursos financeiros.
  - **Investigação:** Ms Adriano Pereira Cardoso quem conduziu a coleta de dados, os experimentos práticos.
  - **Metodologia:** Ms Adriano Pereira Cardoso e Felipe N. Bassani que desenvolveram e ajustaram as metodologias aplicadas no estudo.
  - **Redação - Rascunho Inicial:** profª Drª Edneia Aparecida de Souza Paccola e Ms Adriano Pereira Cardoso iniciaram a redação inicial.
  - **Redação - Revisão Crítica:** A profª Drª Luciana Cristina Soto Herek e profª Drª Flávia Aparecida Reitz Cardoso revisaram o texto, melhorando a clareza e a coerência.
  - **Revisão e Edição Final:** profª Drª Luciana Cristina Soto Herek, profª Drª Edneia Aparecida de Souza Paccola e Felipe Nakamura Bassani revisaram e ajustaram o manuscrito para garantir que atende às normas da revista.
  - **Supervisão:** A profª Drª Edneia Aparecida de Souza Paccola quem coordenou o trabalho e garantiu a qualidade geral do estudo.
- 

### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Eu, Edneia Aparecida de Souza Paccola, Adriano Pereira Cardoso, Felipe Nakamura Bassani, Flávia Aparecida Reitz Cardoso, Luciana Cristina Soto Herek, declaro(amos) que o manuscrito intitulado "Estudos das propriedades mecânicas, físicas e morfológicas em compósitos utilizados na construção civil"



1. **Vínculos Financeiros:** Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo”.
  2. **Relações Profissionais:** Possuímos relações profissionais, prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edneia Aparecida de Souza Paccola e prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana Cristina Soto Herek, trabalhamos na Universidade Cesumar no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas (PPGTL), onde Ms Adriano Pereira Cardoso e Mestrando Felipe Nakamura Bassani orientados pelas professoras Edneia e Luciana, respectivamente. A prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Flávia Aparecida Reitz Cardoso é da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) colaboradora externa com as pesquisas na pós-graduação.
  3. **Conflitos Pessoais:** Formamos um grupo de pesquisa com trabalhos envolvendo a temática resíduos sólidos, reciclagem, meio ambiente e sustentabilidade.
-