

DORMENTES FERROVIÁRIOS CONSTITUIDOS DE RESINA DE MAMONA E RESÍDUO DE ACIARIA

RAILWAY SLEEVES MADE OF CASTOR BEAN RESIN AND STEEL MILL WASTE

Laura Oliveira Gomes

Aluna de Engenharia de Materiais, 7º período, UFRJ
Período PIBIC CETEM: outubro de 2022 a julho de 2023
lauraoliv.g@poli.ufrj.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Eng. Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

RESUMO

A indústria siderúrgica brasileira gera anualmente grandes volumes de resíduos, como carepas, escórias e poeiras de aciaria, que, quando não destinados adequadamente, representam riscos ambientais significativos. Diante desse cenário, o aproveitamento desses subprodutos em novos materiais vem ganhando destaque como estratégia de sustentabilidade e economia circular. Este trabalho propõe a produção de dormentes ferroviários por meio da incorporação de resíduos de aciaria como carga mineral em matriz de resina de mamona, um polímero de origem renovável. A proposta alia o reaproveitamento de rejeitos industriais ao uso de matérias-primas naturais, reduzindo o impacto ambiental da infraestrutura ferroviária. Foram desenvolvidas formulações contendo diferentes proporções de resíduos e avaliadas quanto às propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas. Os resultados demonstraram que a adição de até 60% de resíduo de aciaria melhora a resistência mecânica, mantendo a estabilidade térmica e dimensional, evidenciando o potencial técnico e sustentável do material.

Palavras-chave: Resíduos de aciaria, resina de mamona, dormentes de ferrovia.

ABSTRACT

The Brazilian steel industry annually generates large volumes of waste, such as mill scale, slag, and dust, which, if not properly managed, pose significant environmental risks. In this context, the reuse of such by-products in new materials has emerged as a sustainable and circular economy strategy. This study proposes the production of railway sleepers through the incorporation of steelmaking residues as a mineral filler in a castor oil-based resin matrix – a renewable polymer. This approach combines the reuse of industrial waste with the use of natural raw materials, minimizing the environmental footprint of railway infrastructure. Different formulations were developed and evaluated for mechanical, thermal, and morphological properties. Results showed that the addition of up to 60% steelmaking waste improves mechanical performance while maintaining thermal and dimensional stability, highlighting the material's technical and sustainable potential.

Keywords: Steel mill waste, castor oil resin, railway sleepers.

1. INTRODUÇÃO

A siderurgia configura-se como uma das atividades industriais que mais geram resíduos sólidos no Brasil, destacando-se as carepas e escórias de aciaria como subprodutos significativos dos processos de fabricação e beneficiamento do aço. Quando descartados sem tratamento ou estratégias de reaproveitamento, esses resíduos podem causar impactos ambientais relevantes, como a contaminação do solo e da água, além de demandarem grandes áreas para disposição final.

Apesar disso, esses materiais apresentam potencial de reutilização devido à sua composição rica em óxidos metálicos, como Fe_2O_3 e SiO_2 , o que os torna candidatos promissores para uso como carga em materiais compósitos, contribuindo tanto para o aprimoramento de propriedades mecânicas quanto para a sustentabilidade ambiental (ZACUL, 2022).

No setor ferroviário, os dormentes tradicionais, como os de madeira tratada com produtos tóxicos e os de concreto, enfrentam desafios quanto à durabilidade, ao custo e aos impactos ambientais. Por isso, cresce o interesse por alternativas sustentáveis que possam substituir esses materiais sem comprometer o desempenho estrutural da via férrea (CDURAN et al., 2025).

Neste contexto, propõe-se o uso de resíduos de aciaria (BRITO, 2021) incorporados a uma matriz polimérica de origem renovável, como a resina de mamona (SOUZA, 2020), para a fabricação de dormentes ferroviários. Derivada da planta *Ricinus communis*, a resina é biocompatível, não tóxica e apresenta boa rigidez e estabilidade mecânica após a cura (SILVA, et al., 2019), sendo uma opção interessante para compósitos reforçados com resíduos industriais.

A sinergia entre o resíduo rico em óxidos metálicos e a matriz vegetal possibilita o desenvolvimento de dormentes mais sustentáveis e resistentes, ao mesmo tempo em que promove a valorização de rejeitos industriais e a redução da pressão sobre recursos naturais não renováveis, contribuindo para uma infraestrutura ferroviária mais eficiente e ambientalmente responsável (SILVA et al., 2023).

2. OBJETIVO

Desenvolver dormentes ferroviários sustentáveis, a partir da incorporação de resíduos de aciaria como carga mineral em uma matriz de resina de mamona, avaliando suas propriedades mecânicas e estruturais, com vistas à aplicação em trilhos ferroviários e promoção da economia circular.

3. METODOLOGIA

Os resíduos de aciaria utilizados neste estudo foram cedidos por uma usina siderúrgica estadual. Os resíduos foram devidamente separados e processados até atingirem uma granulometria inferior a $150\ \mu\text{m}$. A composição química do material foi previamente caracterizada e fornecida pela própria usina. Como matriz polimérica, foi empregada uma resina poliuretana à base de óleo de mamona. A partir dela, foram desenvolvidas formulações contendo 10, 20, 30, 50, 60 e 70% em massa de resíduo de aciaria. A homogeneização das misturas foi realizada manualmente, seguida de moldagem em formas de silicone e cura em temperatura ambiente por 48 horas. Por fim, para a caracterização das amostras obtidas, foram realizados ensaios mecânicos de compressão conforme as normas ASTM, além de testes de dureza e cor e brilho, com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas e estéticas dos compósitos formulados. Os compósitos foram submetidos à câmaras de alterabilidade que simularam a ação dos raios-UV, salinidade, umidade e SO_2 , sendo avaliadas posteriormente os compósitos pelos mesmos ensaios e água residual por ICP-Plasma.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentados os resultados de dureza das formulações contendo diferentes teores de resíduo de aciaria. Observa-se que as amostras com 10% e 20% apresentaram elevados valores de dureza, indicando boa integração entre a matriz polimérica e a carga mineral nesses teores mais baixos. Entretanto, nas formulações com 30% e 50%, houve uma queda perceptível nos valores, o que pode ser atribuído à sedimentação do resíduo durante o processo de cura. Essa má homogeneização resulta em regiões com concentração desigual de partículas, comprometendo a resistência superficial do compósito.

Por outro lado, a amostra com 60% de resíduo apresentou um desempenho superior, com recuperação significativa da dureza. Esse resultado indica que, nesse teor, houve um restabelecimento da homogeneidade da mistura entre resina e resíduo, permitindo uma distribuição mais uniforme das partículas e, conseqüentemente, melhor resistência mecânica superficial. Ressalta-se que o desempenho da formulação com 60% foi notavelmente positivo, demonstrando potencial para aplicações que exigem boa dureza e integridade estrutural.

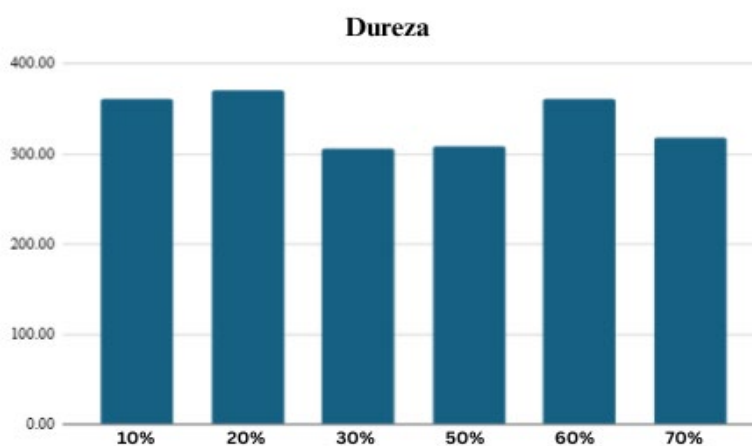


Figura 1: Dureza nas amostras 10% - 70%.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados médios dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) e brilho (G) das formulações com diferentes teores de resíduo de aciaria. Observa-se uma redução dos valores de L^* com o aumento da carga, indicando escurecimento progressivo das amostras, embora todas mantenham tonalidades dentro da faixa de cinza.

Os valores de a^* e b^* se mantiveram baixos e com pouca variação, reforçando a neutralidade cromática das amostras. Já o brilho (G) apresentou queda conforme o teor de resíduo aumentou, com destaque para os teores de 20% e 10%, que exibiram os maiores valores.

Tabela 1: Avaliação colorimétrica das amostras.

Média	L	a	b	G
10%	32.08	1.49	3.87	6.18
20%	33.92	1.62	3.99	7.4
30%	31.83	1.37	2.58	5.6
50%	30.53	1.72	2.73	3.2
60%	29.70	1.57	2.10	2.3
70%	28.24	1.57	2.07	1.99

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de tensão de ruptura e deslocamento até a falha das formulações contendo diferentes teores de resíduo de aciaria. Observa-se que a formulação com 60% de resíduo apresentou um dos melhores desempenhos mecânicos, com valor de tensão de ruptura de 1,885 kgf/mm², muito próximo do valor máximo observado (1,905 kgf/mm² na amostra com 10%). Esse resultado é especialmente relevante considerando a alta proporção de resíduo incorporado, o que evidencia uma boa compatibilidade entre a matriz polimérica e o resíduo nesse teor.

As formulações com 10% e 30% também apresentaram bons resultados de resistência, enquanto as amostras com 50% e 70% apresentaram os menores valores de tensão de ruptura, indicando que nesses teores houve maior dificuldade de homogeneização, com possível formação de regiões frágeis dentro do compósito.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de força em função do deslocamento, nas quais se confirma o bom desempenho da formulação com 60%, que apresenta uma resposta mecânica consistente, com boa absorção de carga até a ruptura. O deslocamento até a falha variou de forma discreta entre as formulações, oscilando entre 27,15 mm e 28,75 mm, sem indicar influência significativa do teor de resíduo sobre esse parâmetro específico.

Tabela 2: Tensão de ruptura e deslocamento das amostras.

Médias	10%	20%	30%	50%	60%	70%
Tensão Ruptura	1.905	1.805	1.9	1.585	1.885	1.75
Desloc.(mm)	27.15	28.185	27.78	27.835	27.795	28.75

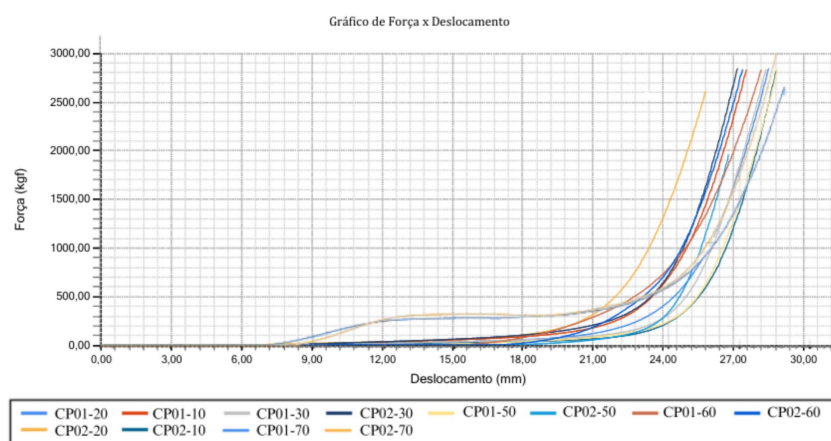


Figura 2: Curvas força x deslocamento das amostras.

Em relação aos ensaios de alterabilidade não foram observadas alterações mecânicas ou colorimétricas nos compósitos, indicando a alta resistência do material frente às intempéries. Além disso, as águas recolhidas nos ensaios não identificaram a presença de metais pesados que pudessem se desprender do compósito e ser considerado um problema ambiental.

5. CONCLUSÕES

Os dormentes desenvolvidos com resíduos de aciaria e resina de mamona apresentaram desempenho técnico satisfatório, com boas propriedades mecânicas e estabilidade em diferentes condições. O estudo demonstra ser uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente relevante, ao incorporar elevadas quantidades de resíduos industriais que seriam descartados, aliados ao uso de uma matriz polimérica de origem renovável.

Entre as formulações testadas, a com 60% de resíduo destacou-se por aliar alta carga de material reaproveitado com bom desempenho mecânico, configurando-se como a composição mais promissora para futuras aplicações.

Por fim, em relação aos ensaios de alterabilidade não foram observadas alterações mecânicas ou colorimétricas nos compósitos, indicando a alta resistência do material frente às intempéries. Além disso, as águas recolhidas nos ensaios não identificaram a presença de metais pesados que pudessem se desprender do compósito e ser considerado um problema ambiental.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura laboratorial e ao CNPq pela bolsa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, M.M. et al. (2021). Aplicações de resíduos da siderurgia em materiais de construção. *Revista Materiais e Sustentabilidade*, 6(1), 34-44.

CDuran, A.J.F.P., LYRA, G.P., CAMPOS FILHO, L.E. et al. (2025). The Use of Castor Oil Resin on Particleboards: A Systematic Performance Review and Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 17(8), 3609.

FILHO, R.; MAIA, W.M. Gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na aciaria LD. 2011. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011..

SILVA, F.A.; VALDÉS, S.; OLIVEIRA, J C.; COSTA, D.; GUERRERO MARTIN, C.A. (2023). Production of Biodegradable Polymeric Composites with the Addition of Waste. *Materials*, 16(18), 6305.

SILVA, R.C. et al. (2019). Caracterização de resinas vegetais para aplicação em compósitos estruturais. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 29(3), e2019023.

SOUZA, A.L. et al. (2020). Potencial da resina de mamona em substituição a matrizes poliméricas sintéticas. *Revista de Materiais Renováveis*, 8(4), 102-112.

ZANCUL, E.S. et al. (2022). Compósitos sustentáveis para infraestrutura ferroviária. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Materiais*, 13(2), 778-789.