



GESTÃO DE DORMENTES FERROVIÁRIOS AO FIM DA VIDA ÚTIL: ANÁLISE LOGÍSTICA, NORMATIVA E OPERACIONAL

Ana Flávia Vieira Gomes¹; Laura Coura Soranço¹; Katrine Stefânia Couto¹; Júlia Castro Mendes¹

¹Universidade Federal de Juiz de Fora — Brasil

RESUMO

O modal ferroviário possui papel estratégico na matriz de transporte, porém a gestão dos dormentes ao final da vida útil representa um desafio ambiental e operacional. Este estudo analisa as principais estratégias de valorização de dormentes de madeira, concreto e aço, considerando aspectos logísticos, normativos e econômicos. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica, análise documental e visitas técnicas em uma concessionária ferroviária e em uma empresa de reaproveitamento. Os resultados indicam que a madeira é predominantemente destinada à recuperação energética e reutilização, porém apresenta restrições ambientais devido ao tratamento químico. O concreto apresenta maior potencial de reciclagem, embora limitado por fatores logísticos, enquanto o aço possui cadeia de reciclagem consolidada. As visitas técnicas evidenciaram falhas na triagem, armazenamento e comercialização, impactando a eficiência das rotas de destinação. Conclui-se que a limitação das estratégias de valorização está associada principalmente à falta de integração logística e operacional, e não à ausência de alternativas, reforçando a necessidade de melhorias na gestão ao longo de toda a cadeia.

Palavras-chave: *Dormentes ferroviários; gestão de resíduos; reciclagem; logística; sustentabilidade*

1. INTRODUÇÃO

O modal ferroviário desempenha papel estratégico na matriz de transportes, sendo fundamental para a movimentação eficiente de grandes volumes de carga e para o suporte ao desenvolvimento econômico. Apesar dessas vantagens, as atividades associadas à manutenção da via permanente geram fluxos significativos de resíduos, cuja gestão ainda representa um desafio relevante. Entre esses resíduos, destacam-se os dormentes ao final de sua vida útil, com ênfase nos de madeira, devido às suas características físico-químicas e implicações ambientais (ANTF, 2024).

Em termos quantitativos, a infraestrutura ferroviária demanda entre 1.390 e 1.667 dormentes por quilômetro de via, valor que varia conforme o tipo de material, a geometria da via e o espaçamento adotado (Vignali, 2024; Thompson *et al.*, 2022). A vida útil desses elementos apresenta ampla variabilidade: dormentes de concreto podem atingir entre 25 e 40 anos (Dolci, Rigamonti e Grosso, 2020; Hausberger, Cordes e Gschösser, 2023; Vignali, 2024), enquanto os de madeira variam entre 15 e 35 anos (Rempelos, Preston e Blainey, 2020; Thompson *et al.*, 2022), e os de aço entre 17 e 40 anos (Rempelos, Preston e Blainey, 2020). Tais variações estão diretamente relacionadas às condições operacionais, à intensidade do tráfego e às solicitações mecânicas impostas ao longo do tempo.

A substituição periódica desses componentes implica a geração de volumes expressivos de resíduos, ampliando a complexidade de sua gestão. No caso dos dormentes de madeira



tratados com creosoto, os impactos ambientais são particularmente relevantes, uma vez que o descarte inadequado pode resultar na contaminação do solo e de corpos hídricos, além de elevar o risco de incêndios devido à inflamabilidade do material (Damasceno *et al.*, 2017). Adicionalmente, o acúmulo desses resíduos pode favorecer condições propícias à proliferação de pragas e animais (Kaewunruen, Lopes e Papaelias, 2018).

Embora a literatura aponte diferentes alternativas de reaproveitamento, observa-se que sua aplicação ainda ocorre de forma limitada frente ao volume gerado (Ashori, Tabarsa e Amosi, 2012). Esse cenário evidencia que a problemática não está restrita à disponibilidade de soluções tecnológicas, mas à ausência de uma abordagem sistêmica que integre as etapas de coleta, transporte, processamento e destinação final. Nesse contexto, fatores como custos logísticos, viabilidade econômica e falta de padronização operacional constituem barreiras significativas para a consolidação de práticas mais sustentáveis.

Dessa forma, torna-se necessário avançar para além de análises pontuais, incorporando uma visão integrada da cadeia de gestão desses resíduos. Assim, este estudo propõe a análise de estratégias de valorização de dormentes ferroviários de concreto, madeira e aço, considerando dimensões logísticas, energéticas e de reaproveitamento, com o objetivo de avaliar criticamente as práticas atualmente adotadas e identificar suas principais limitações.

2. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica, normativa e técnica com o objetivo de identificar alternativas para o descarte e reaproveitamento de dormentes ferroviários, com ênfase nos dormentes de madeira, considerando práticas nos contextos nacional e internacional. Foram consultadas bases como Scopus, *ScienceDirect*, *Springer Link*, SciELO e *Engineering Village* (Compendex), abrangendo estudos publicados entre 2014 e 2026. A seleção dos trabalhos ocorreu por meio da análise de títulos, palavras-chave e resumos, com exclusão de duplicados, seguida da leitura integral dos estudos relevantes. Paralelamente, foram analisadas normas técnicas e regulamentações aplicáveis à gestão de resíduos ferroviários, incluindo documentos do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF), além de diretrizes internacionais.

Complementarmente, foram realizadas visitas técnicas entre outubro de 2024 e março de 2025 em uma concessionária ferroviária e em uma empresa atuante no reaproveitamento de dormentes, respectivamente. A coleta de dados baseou-se na percepção sistematizada do grupo de pesquisa durante as visitas, contemplando a análise de aspectos técnicos, logísticos e operacionais observados in loco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise bibliográfica

A revisão bibliográfica identificou diferentes rotas de destinação para dormentes ferroviários ao fim da vida útil, com destaque para o reaproveitamento direto, a reciclagem de materiais e a recuperação energética. Entre os estudos analisados, observa-se maior recorrência de aplicações voltadas aos dormentes de madeira, incluindo seu uso como fonte de energia, reutilização em aplicações secundárias e incorporação em novos materiais. A Tabela 1 sintetiza os destinos identificados em 15 artigos selecionados da literatura, considerando a frequência com que cada alternativa é mencionada nos estudos.

**Tabela 1.** Destinos finais dos dormentes por tipo de material conforme a revisão de literatura.

Destino	Dormentes de Madeira	Dormentes de Concreto	Dormentes de Aço
Incineração	43%	–	–
Reutilização	29%	–	–
Aterro	14%	31%	–
Reciclagem	-	53%	100%
Não mencionado	14%	16%	–

Nota: Essa proporção é em relação aos documentos analisados, não em relação à massa ou ao volume de resíduos gerados

Fonte: (Gomes *et al.*, 2025)

Entre os dormentes de madeira, observa-se predominância da recuperação energética por meio de incineração, citada em 43% dos estudos, refletindo o potencial desses materiais como fonte de bioenergia. A reutilização aparece em 29% das publicações, geralmente associada a aplicações secundárias, como cercas, estruturas temporárias e mobiliário urbano. Já o envio para aterros sanitários é mencionado em 14% dos casos, sendo considerado uma alternativa menos desejável devido aos impactos ambientais associados, especialmente em função do tratamento com creosoto (Damasceno *et al.*, 2017). Outros 14% dos estudos não especificam a destinação final desses materiais.

No que se refere à recuperação energética, Damasceno *et al.* (2017) destacam que o aproveitamento dos dormentes como biomassa para cogeração de energia elétrica contribui para a mitigação de impactos ambientais, sobretudo pela redução do volume de resíduos. Além dos benefícios ambientais, essa alternativa apresenta vantagens econômicas ao utilizar um recurso já disponível, favorecendo a sustentabilidade das operações ferroviárias. De forma complementar, Orszulik (2015) aponta que a co-combustão de dormentes com carvão e palha em caldeiras permite a obtenção de emissões controladas, ao mesmo tempo em que amplia as possibilidades de reaproveitamento de subprodutos, como cinzas e escórias, com potencial aplicação em áreas industriais e agrícolas. Essa abordagem contribui para a redução do consumo de combustíveis fósseis e para a destinação ambientalmente adequada da madeira ao final de sua vida útil.

No que se refere ao prolongamento da vida útil dos dormentes ou à sua reutilização como novos dormentes, diferentes abordagens têm sido estudadas. Icimoto (2018) investigou o uso de tecido de fibra de vidro como forma de aumentar a durabilidade dos dormentes. Carrasco *et al.* (2012) estudaram a possibilidade de empregá-los como base para compósitos laminados; e Ashori, Tabarsa e Amosi (2012) propuseram a criação de compósitos de madeira-cimento a partir dos dormentes reciclados. Esses autores mostram que o reaproveitamento de dormentes se apresenta como uma solução viável que combina benefícios ambientais com oportunidades econômicas para a empresa e a comunidade.

No caso dos dormentes de concreto, a reciclagem se destaca como a principal rota de destinação, presente em 53% dos estudos, com ênfase na britagem do material para utilização como agregado reciclado em obras civis e infraestrutura viária (Vignali, 2024). Ainda assim, 31% das publicações indicam o envio para aterros como destino final, evidenciando limitações operacionais e logísticas para a implementação de alternativas mais sustentáveis. Em 16% dos casos, o destino não é explicitado.

Para os dormentes de aço, a literatura apresenta um cenário mais consolidado, no qual a reciclagem aparece como a única forma de destinação identificada, correspondendo a



100% dos estudos analisados. Essa tendência está associada à elevada reciclabilidade do material e à sua inserção consolidada na cadeia da sucata metálica (Vignali, 2024).

Além das rotas de destinação, os estudos também indicam diferenças relevantes quanto aos impactos ambientais associados a cada tipo de dormente. Os dormentes de aço apresentam maior pegada de carbono, variando entre 250 e 300 kg CO₂ equivalente por unidade, enquanto os dormentes de concreto variam entre 130 e 180 kg CO₂, e os de madeira entre 70 e 150 kg CO₂, dependendo da espécie e das condições de produção (Rempelos, Preston e Blainey, 2020). Esses valores evidenciam que, apesar da eficiência da reciclagem no caso do aço, seu impacto ambiental inicial é mais elevado.

Do ponto de vista econômico, as diferentes rotas de destinação apresentam variações significativas de custo. O envio para aterros industriais é frequentemente apontado como a alternativa de menor custo imediato, embora associado a riscos ambientais e possíveis passivos futuros (Rempelos, Preston e Blainey, 2020). A incineração com recuperação energética apresenta custos intermediários, destacando-se pela redução do volume de resíduos e pela geração de energia (Dolci, Rigamonti e Grosso, 2020). Já a reciclagem apresenta comportamento variável: enquanto o aço possui maior viabilidade econômica devido ao valor de mercado da sucata, o concreto reciclado enfrenta limitações logísticas e menor atratividade econômica (Vignali, 2024). A reutilização em aplicações secundárias, por sua vez, é caracterizada por baixo custo operacional, porém apresenta restrições normativas, especialmente no caso de dormentes de madeira tratados com substâncias preservantes, o que limita sua adoção em larga escala (Damasceno *et al.*, 2017).

3.2. Análises documentais e normativas

A análise documental, fundamentada em planos de gerenciamento de resíduos sólidos, normativas brasileiras e diretrizes técnicas internacionais, evidenciou que o manejo de dormentes ferroviários ao final da vida útil é condicionado por exigências legais, ambientais e operacionais, que variam conforme o tipo de material: madeira, concreto e aço.

No caso dos dormentes de madeira, a presença de preservantes químicos, como o creosoto, implica sua classificação como resíduo perigoso, conforme a ABNT NBR 10004:2004, ou sua adoção como Classe I na ausência de caracterização (ABNT, 2024). Essa classificação exige controle rigoroso em todas as etapas de gerenciamento, todas as etapas de armazenamento devem ocorrer em áreas impermeabilizadas, com cobertura e sistemas de contenção, além de segregação por classe de risco e controle de acesso (ABNT, 2004; CONAMA, 2002). Diretrizes da AREMA, norma americana, reforçam que a reutilização desses dormentes deve ser criteriosamente avaliada, sendo restrita em determinadas aplicações devido ao risco de contaminação ambiental.

Para os dormentes de concreto, a análise documental indica menor restrição ambiental direta, uma vez que esses materiais, em geral, não são classificados como resíduos perigosos (AREMA, 2013). No entanto, sua gestão também está sujeita às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prioriza a não geração, redução, reutilização e reciclagem (BRASIL, 2010). Os documentos analisados evidenciam que a principal exigência normativa está relacionada à destinação adequada, com incentivo à reciclagem por meio da britagem e reutilização como agregado. Ainda assim, aspectos logísticos, como transporte, processamento e viabilidade econômica, influenciam diretamente sua aplicação prática. Normas técnicas também indicam a necessidade de controle de qualidade do material reciclado para uso em novas aplicações, especialmente em obras de infraestrutura.



No caso dos dormentes de aço, a análise documental aponta um cenário mais consolidado em termos de gestão, uma vez que o material possui alto valor de mercado como sucata e ampla inserção em cadeias de reciclagem. Embora não sejam classificados como resíduos perigosos, sua destinação deve atender às diretrizes de rastreabilidade e controle estabelecidas pela PNRS (BRASIL, 2010). Diretrizes técnicas indicam que o reaproveitamento está condicionado à avaliação do estado físico e estrutural dos elementos, sendo a reciclagem a alternativa predominante ao final da vida útil. A AREMA também destaca a importância da segregação e encaminhamento adequado desses materiais para processos industriais de reaproveitamento (AREMA, 2013).

De forma geral, os documentos analisados evidenciam que, enquanto os dormentes de madeira são fortemente impactados por restrições ambientais e normativas, os dormentes de concreto e aço são mais influenciados por fatores logísticos, operacionais e econômicos. Apesar disso, todos os materiais estão sujeitos às diretrizes da PNRS, que estabelece a priorização de alternativas de valorização em detrimento da disposição final (BRASIL, 2010).

3.3. Análise visitas técnicas

Com o objetivo de complementar os dados obtidos na revisão bibliográfica e documental, foram realizadas visitas técnicas a pátios de descarte de uma concessionária ferroviária localizada na região Sudeste do Brasil e a uma empresa responsável pela aquisição e reaproveitamento desses materiais. Durante as análises, foram consideradas informações operacionais relacionadas a 23 pátios distribuídos ao longo da malha ferroviária estudada. As visitas envolveram observação direta das operações de armazenamento, segregação, carregamento, retirada e destinação dos dormentes ao final da vida útil, além do registro das condições físicas dos materiais, da organização dos pátios e das etapas operacionais associadas à movimentação e comercialização. Também foram consideradas informações operacionais fornecidas durante as visitas, especialmente relacionadas à frequência de recolhimento, disponibilidade de equipamentos, critérios de classificação dos materiais e principais rotas de reaproveitamento adotadas. Ressalta-se que as observações se limitaram aos dormentes de madeira, por serem os principais materiais em processo de substituição nas áreas analisadas.

A análise integrada das visitas permitiu identificar que o processo de descarte dos dormentes está fortemente condicionado por fatores logísticos, operacionais e de mercado, que influenciam diretamente a eficiência das rotas de destinação adotadas. Nos pátios da concessionária, verificou-se a presença de acúmulo de materiais, bem como diferenças de qualidade entre os trechos ferroviários avaliados. Observou-se ainda a adoção de critérios de segregação dos dormentes em Classes 1, 2 e 3, definidos de acordo com o estado físico e o potencial de reaproveitamento dos materiais. Os dormentes classificados como Classe 1 e Classe 2 são priorizados para reemprego interno em aplicações ferroviárias, enquanto os materiais enquadrados como Classe 3, sem viabilidade de reutilização na via permanente, são normalmente destinados à comercialização e alternativas de destinação.

A comercialização ocorre predominantemente por metro cúbico, transferindo ao comprador parte da responsabilidade pela separação e definição dos materiais com potencial de reaproveitamento. Esse modelo impacta diretamente a dinâmica de destinação, uma vez que materiais em melhores condições tendem a apresentar maior atratividade comercial, enquanto dormentes fragmentados, deteriorados ou com menor potencial de reutilização permanecem armazenados nos pátios por períodos prolongados. A limitação da capacidade de absorção do mercado frente ao volume gerado também se



mostrou um fator relevante, contribuindo para o acúmulo progressivo desses resíduos ao longo da malha ferroviária.

Do ponto de vista logístico, foram identificadas restrições significativas no processo de retirada dos dormentes. A dependência de janelas operacionais da ferrovia, aliada à necessidade de disponibilidade imediata de equipamentos e transporte por parte dos compradores, limita a fluidez do escoamento dos materiais. Além disso, a ausência de suporte operacional para carregamento exige que os compradores disponham de infraestrutura própria, como caminhões e equipamentos de içamento, restringindo a participação no processo a empresas com maior capacidade operacional.

Na unidade compradora, observou-se que os dormentes adquiridos são destinados a diferentes aplicações conforme seu estado físico e potencial de aproveitamento. Materiais em melhores condições são direcionados à reutilização em produtos de maior valor agregado, enquanto aqueles com maior grau de degradação são encaminhados para outras formas de destinação. No entanto, a variabilidade na qualidade dos lotes adquiridos, associada às limitações de triagem prévia, impacta diretamente a eficiência do reaproveitamento e aumenta as dificuldades operacionais relacionadas à destinação dos materiais.

4. CONCLUSÃO

A gestão de dormentes ferroviários ao final da vida útil é condicionada não apenas pelas características intrínsecas dos materiais, mas, sobretudo, por fatores logísticos, normativos e operacionais que influenciam diretamente as possibilidades de destinação. Nesse contexto, a reciclagem se consolida como a principal estratégia para dormentes de concreto e aço, evidenciando seu potencial de inserção em modelos de economia circular. Por outro lado, no caso dos dormentes de madeira, as restrições ambientais associadas ao uso de preservantes químicos, como o creosoto, impõem limitações significativas às alternativas de reaproveitamento.

Embora existam diferentes rotas de valorização, como reutilização e recuperação energética, sua efetividade permanece limitada. Evidências obtidas a partir das visitas técnicas indicam que entraves relacionados à ausência de padronização nos processos de triagem, à ineficiência logística e à baixa articulação entre a geração e a demanda por esses materiais comprometem a viabilidade técnica e econômica dessas estratégias. Além disso, observa-se uma desconexão entre os agentes envolvidos na cadeia, o que dificulta a consolidação de soluções em escala.

Dessa forma, a ampliação das estratégias de valorização depende da adoção de uma abordagem mais integrada, que contemple melhorias nos processos operacionais e logísticos, bem como o desenvolvimento de soluções tecnológicas e novas aplicações capazes de ampliar o aproveitamento desses resíduos, em alinhamento com os princípios da gestão sustentável.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa MRS Logística S.A. e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a realização deste estudo. Este trabalho também contou com o suporte de bolsas fornecidas pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).



6. REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. D. N. T. **NBR 10004:2024 - Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2024.
- ANTF. Mapa Ferroviário. **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários**, 2024. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/boletim-antf/mapa-ferroviario/>>. Acesso em: 25 jul. 2025.
- AREMA. **Manual for Railway Engineering - Chapter 1: Roadway and Ballast**. Laham: American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association, v. I, 2013.
- ASHORI, A.; TABARSA, T.; AMOSI, F. Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood–cement composite materials. **Construction and Building Materials**, p. 126-129, 2012.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências., Brasília, DF, 2010.
- CARRASCO, E. V. M.; PASSOS, J. B.; DIAS, A. A. Recycling of used railway sleepers for the production of glued laminated timber (GLT). **BioResources**, 2012. v. 7, n. 1, p. 1108-111.
- DAMASCENO, F. G. et al. Reaproveitamento de dormentes de madeira da estrada de ferro Carajás para a cogeação de energia elétrica. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais**, n. 45, 2017. 1-18.
- DOLCI, G.; RIGAMONTI, L.; GROSSO, M. Potential for improving the environmental performance of railway sleepers with an outer shell made of recycled materials. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, 6, July 2020. 100160.
- HAUSBERGER, L.; CORDES, T.; GSCHÖSSER, F. Life Cycle Assessment of High-Performance Railway Infrastructure, Analysis of Superstructures in Tunnels and on Open Tracks. **Sustainability**, 15, April 2023. 7064.
- ICIMOTO, F. H. Dormentes de Madeira Lamelada Colada (MLC) reforçados com tecidos de fibra de vidro., 2018. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18158/tde-06082018-104852/publico/FelipeIcimotoDOcorrigida.pdf>>.
- KAEWUNRUEN, S.; LOPES, L. M. C.; PAPAELIAS, M. P. Georisks in railway systems under climate uncertainties by different types of sleeper/crosstie materials, 20, June 2018. 77 - 86.
- ORSZULIK, E. Expendable Railroad Sleepers, of Modern Fuels for Power Stoker Fired Boilers. **Journal of Advanced Chemical Engineering**, 2015. v. 4.
- REMPELOS, G.; PRESTON, J.; BLAINEY, S. A carbon footprint analysis of railway sleepers in the United Kingdom. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 81, April 2020. 102285.
- THOMPSON, S. et al. Life Cycle Cost and Assessment of Alternative Railway Sleeper Materials. **Sustainability**, 14, July 2022. 8814.
- VIGNALI, G. Ballasted or ballastless for a railway infrastructure? A comparative environmental impact assessment of two solutions. **Cleaner Environmental Systems**, 12, Março 2024. 100158.



MANAGEMENT AND VALORIZATION OF RAILWAY SLEEPERS AT THE END OF THEIR USEFUL LIFE: LOGISTICS, REGULATORY, AND OPERATIONAL ANALYSIS

ABSTRACT

Rail transport plays a strategic role in the freight transportation matrix; however, the management of railway sleepers at the end of their service life represents an environmental and operational challenge. This study analyzes the main valorization strategies for wooden, concrete, and steel sleepers, considering logistical, regulatory, and economic aspects. The methodology was based on a literature review, document analysis, and technical visits to a railway concessionaire and a reuse company. The results indicate that wooden sleepers are mainly directed to energy recovery and reuse, although limited by environmental restrictions due to chemical treatment. Concrete sleepers show significant recycling potential, despite logistical constraints, while steel sleepers present a well-established recycling chain. Field observations revealed deficiencies in sorting, storage, and commercialization processes, directly affecting the efficiency of disposal routes. It is concluded that the limitations in sleeper valorization are primarily associated with logistical and operational factors rather than the lack of available alternatives, highlighting the need for integrated management across the entire lifecycle.

Keywords: *Railway sleepers; waste management; recycling; logistics; sustainability*