

# UMA PERSPETIVA PARA A UTILIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS EM SISTEMAS FERROVIÁRIOS

**LUÍS ANDRADE FERREIRA<sup>a,b</sup>**

<sup>a</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

<sup>b</sup> Diretor Executivo do CCF – Centro de Competências Ferroviário

## I. INTRODUÇÃO

O setor ferroviário desempenha um papel vital no cenário logístico e económico de Portugal, começando a apresentar sinais de recuperação após um período de declínio, principalmente devido à redescoberta do potencial das ferrovias para movimentar cargas ou passageiros de forma eficiente, com baixo consumo de energia e baixas emissões. A procura para a utilização do transporte ferroviário é crescente, sendo uma alternativa competitiva na mobilidade de pessoas e mercadorias. Além disso, do ponto de vista ambiental, o setor ferroviário é o sistema de transporte mais sustentável da economia e, portanto, um serviço essencial para as sociedades globais. Porém, a sustentabilidade desse desenvolvimento económico exige o aumento da competitividade e atratividade do setor ferroviário, reduzindo custos de operação e comunicações.

Por outro lado, o setor ferroviário tem uma grande contribuição para a economia global com a geração de empregos, em particular na UE. Os principais fabricantes da UE de material rodante na indústria de transporte ferroviário representam hoje cerca de 35% das cinco maiores empresas mundiais, apesar da pressão significativa de empresas de economias em expansão [EU REFRESCO project, 2016].

O setor deve ter como objetivo desenvolver suas principais áreas de força: sustentabilidade, eficiência, segurança e proteção, o que exige um maior investimento em I&D&I por parte das empresas, centros de investigação, universidades e outras organizações, como plataformas e associações.

A necessidade constante de superar as barreiras tecnológicas de novas aplicações e da crescente consciência ambiental, apresenta novos desafios para o setor de transportes. Estão a ser procuradas novas soluções construtivas e materiais com vista a diminuir peso, custos, melhorar os processos de reciclagem e consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub>. A utilização de novos materiais tem sido uma constante em todos os setores, inclusive o ferroviário, desde o início de seu desenvolvimento em meados do século XIX. A necessidade de empregar novos materiais é cada vez mais importante para responder às crescentes exigências de sustentabilidade e eficiência.

Isso exige que o material circulante seja mais leve e circule numa infraestrutura capaz de suportar maiores velocidades, cargas e frequência de passagem; reutilização e reciclagem de materiais; e atender às exigências de conforto dos passageiros e daqueles que residem nas proximidades da infraestrutura ferroviária. Tudo isto sem reduzir a segurança do sistema.

O Centro de Competências Ferroviário (CCF) visa criar ferramentas que apoiem o desenvolvimento científico e tecnológico necessário para reforçar a competitividade, internacionalização e sustentabilidade do setor ferroviário nacional. Nesta estrutura, e de acordo com as diretrizes do Ministério das Infraestruturas e da Habitação, entende-se que a relevância, o desenvolvimento e a aplicação de materiais avançados, nanomateriais, etc., no campo da investigação e inovação do setor ferroviário, são fatores fundamentais para o fortalecimento da competitividade da indústria ferroviária.

## II. MATERIAL CIRCULANTE

A necessidade de termos Material Circulante com maior velocidade e menor peso está na origem de uma maior competitividade comercial entre as empresas do setor, além de reduzir as emissões de contaminantes vinculadas ao transporte ferroviário. Estes fatores, juntamente com as melhorias na qualidade, são especialmente relevantes no contexto da liberalização do transporte de passageiros. Ao mesmo tempo, os padrões de conforto exigidos pelos passageiros continuam a aumentar.

Maior conforto e espaço para passageiros, menor peso e custo são critérios um tanto contraditórios que exigem o desenvolvimento de novos materiais para aplicações estruturais, melhoria dos aspetos aerodinâmicos e dos interiores dos veículos.

Por outro lado, a introdução de novos materiais no material circulante deve ter em consideração as características próprias dos caminhos de ferro, como a compatibilidade com o ambiente, a manutenção, a manutenibilidade e o ciclo de vida do próprio material circulante. Da mesma forma, soluções que tenham sido experimentadas com sucesso noutros setores devem ser reavaliadas para verificar sua adequação para uso no material ferroviário [Ulianov et al., 2017].



**Figura 1** – Carroceria típica de comboio de alta velocidade feita em liga de alumínio.

O sucesso da introdução do alumínio foi possível graças às inovações no processo de fabricação, como o desenvolvimento de extrudidos de grandes dimensões, perfis vazados, a incorporação de novas ligas adotadas para o setor aeronáutico e os avanços nos processos de soldadura, nos quais ainda há espaço para inovação, como por exemplo a soldadura FSW (*Friction Stir Welding*) [Sun et al., 2021].

Atualmente, existem linhas de investigação abertas que procuram ampliar a utilização de ligas de alumínio, não só em aplicações estruturais, mas também

em componentes mais compactos. Isso é alcançado por meio de tecnologias baseadas no estado semissólido que visam obter componentes de alumínio com uma alta capacidade de integração estrutural, abrindo a possibilidade de substituição de componentes atualmente forjados em ligas de ferro.

Os compósitos de matriz metálica (MMC) são considerados um dos maiores desenvolvimentos na Ciência dos Materiais nos últimos anos, especialmente a sua aplicação aos veículos automóveis e à aeronáutica. O seu potencial assenta na melhor adaptabilidade das suas propriedades mecânicas, nomeadamente em termos de rigidez, resistência mecânica e resistência à abrasão, bem como na capacidade de cumprir a rígida regulamentação de fogo e fumo (EN-144555) em vigor no sector. Esses tipos de materiais são fabricados por injeção ou *mechanical alloying*, processos pelos quais partículas cerâmicas, principalmente SiC e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de tamanho micrométrico ou nanométrico, são adicionadas como reforço [Chawla et al., 2006].

Juntamente com os compósitos de matriz metálica, as espumas metálicas apresentam propriedades interessantes, principalmente devido à sua leveza e capacidade de absorver energia de impacto e amortecimento de vibrações. Por este motivo e pelo seu comportamento perante o fogo e o fumo, são bons candidatos para aplicações em painéis estruturais e interiores, pisos e paredes de cabines e carruagens [Yao et al., 2015; Garcia-Moreno, 2016].

Os materiais compósitos de matriz polimérica requerem atenção especial devido aos desafios e implicações associadas ao processo de *design* e fabricação. Esses tipos de materiais são geralmente utilizados em aplicações de interiores e estruturas secundárias [Ibrahima et al., 2019].

Algumas das opções mais comuns de matéria-prima são as matrizes à base de formulações epóxi ou fenólicas, e a sua principal limitação são os requisitos contra o fogo e fumo, o que impõe a necessidade de recorrer a resinas resistentes ao fogo, modificadas com aditivos. No que diz respeito às fibras de reforço, podem ser considerados a aramida, o vidro e o carbono, sendo este último o que apresenta melhores propriedades.

No processo de conceção e fabrico dos componentes estruturais de novos materiais deve ter-se em consideração que, para além dos desafios inerentes ao desenvolvimento destes materiais, ainda não existe regulamentação aplicável.

Além disso, uma das chaves da I&D&I é o conceito de multi material, com *designs* que incluem o uso de materiais mais tradicionais, como ligas de ferro ou alumínio, juntamente com novas contribuições promovidas pelos compósitos de matriz metálica (MMC), espumas metálicas ou compósitos de matriz polimérica. Ao mesmo tempo, esses conceitos introduzem a necessidade de encontrar uma solução para a colagem de materiais diferentes, mantendo as propriedades necessárias em termos de cargas estáticas e dinâmicas, fadiga ou envelhecimento e durabilidade.

A tecnologia de superfícies e o desenvolvimento, análise e aperfeiçoamento de revestimentos também têm um impacto relevante na aerodinâmica que é cada vez mais crítica com o aumento da velocidade, pois é possível controlar a separação da camada limite para reduzir a resistência aerodinâmica.

Por fim, e independentemente dos materiais utilizados na estrutura do veículo, os requisitos de peso, custo e principalmente conforto a bordo, implicam o recurso a novas soluções e materiais para interiores com melhores propriedades de isolamento e absorção acústica e térmica. O banco é um dos fatores mais relevantes na perceção do conforto. Tradicionalmente, são fabricados com estruturas metálicas e espumas de poliuretano. Este componente está a ser beneficiado com a aplicação de novos materiais, como espumas à base de silicone ou resina melamínica, que aumentam a resistência mecânica, reduzem o peso e melhoram o conforto.

### III. PLATAFORMA E VIA

A grande evolução da Alta Velocidade e o aumento das cargas transportadas por veículos, entre outros fatores, estão a impulsionar a constante evolução das infraestruturas ferroviárias. Isso também precisa se adaptar às exigências crescentes em termos de custo, manutenção e durabilidade, ruído e vibrações. O uso de novos materiais para responder a esses requisitos é uma das orientações dos programas europeus de I&D&I, incluindo a iniciativa *Shift2Rail*.

A chave para responder a esses requisitos é a incorporação de elementos com propriedades elásticas e duráveis adequadas. Carris, travessas, placas de apoio de carris, placas de base, tapete de balastro, novas composições de balastro, sub-balastro betuminoso, são alguns dos principais elementos que permitem responder a esses requisitos [Lu *et al.*, 2019].

As misturas betuminosas não só melhoram o comportamento vibratório da via, mas também são capazes de aumentar a sua capacidade de carga, estabilidade, resistência à deformação, capacidade de proteção do resto da infraestrutura ou durabilidade, tendo como referência o sistema tradicional. Além disso, implica uma redução no tempo de entrega e pode até significar uma redução nos custos de construção. Porém, mais uma vez, as necessidades crescentes de velocidade, carga e frequência tornam necessária uma revisão das soluções até agora adotadas [Di Mino *et al.*, 2012].

Por exemplo, a modificação do betume por meio da adição de elastómeros melhora o seu comportamento e vida útil. Esta solução, amplamente difundida, enfrenta desafios ambientais que impulsionam a busca por soluções baseadas em materiais reaproveitados [Zhu *et al.*, 2014]. Pó de borracha de pneus fora de serviço ou fibra reciclada são algumas das soluções ecológicas que estão a ser propostas.

Os materiais betuminosos podem ser vantajosos para camadas de sub-balastro. As camadas de cascalho e areia de alta densidade estão a abrir caminho para soluções betuminosas fabricadas com asfalto misturado a quente.

Além disso, as questões ambientais impulsionam a procura por novas soluções, com base em misturas asfálticas de baixa temperatura ou na valorização de materiais reaproveitados ou reciclados.

A utilização desses materiais reciclados e a busca por soluções de *ecodesign*, capazes de melhorar o desempenho ambiental de materiais e produtos por meio da incorporação de materiais plásticos reciclados ao invés de matérias-primas, está a generalizar-se.

As vias implantadas em lajes de betão são cada vez mais comuns, principalmente em alta velocidade e no ambiente urbano (*trams*), o que reduz os custos de manutenção e melhora a fiabilidade.

Atualmente, existem soluções técnicas que permitem superar problemas associados à rigidez excessiva e, portanto, a ruídos e vibrações. Para esse efeito, utilizam-se misturas betuminosas modificadas com pó de borracha derivada de pneus fora de serviço, que promovem a absorção de choque adicional para reduzir a transmissão [Zhu *et al.*, 2014].

O material dos carris também tem sofrido evoluções. O desenvolvimento de novos aços perlíticos, bainíticos e austeníticos e a aplicação de tratamentos superficiais que aumentam a dureza e a resistência das superfícies de rolamento, contribuem para o aumento da vida útil dos carris.

Os carris feitos de aço perlítico oferecem, em geral, as melhores propriedades. No entanto, solicitações mais severas de serviço levam a deformações e desgaste prematuros. Assim, têm sido desenvolvidos aços para carris com melhores propriedades físicas (resistência à fratura, com o crescimento lento de fendas e resistência ao desgaste). Estes novos aços baseiam-se em tratamentos térmicos, em todo o carril, de forma que a estrutura perlítica obtida apresenta uma microestrutura mais fina, ou no uso de aços microligados com pequenas quantidades de nióbio, vanádio e crómio. O objetivo desses desenvolvimentos microestruturais é obter um material de extrema tenacidade, mas ao mesmo tempo mantendo a resistência à fadiga de contato [Woodhead, 2021].

Outros desenvolvimentos, além das propriedades mecânicas e durabilidade, focam na otimização dos processos de soldadura ou no controle de todo o processo de fabricação, através do uso de tecnologias de inspeção visual a laser (reconstrução 3D) para a deteção de defeitos superficiais de produtos a altas temperaturas.

A redução do ruído e das vibrações, bem como das propriedades elásticas dos componentes da estrutura e da subestrutura, requerem o desenvolvimento de novas soluções sob a forma de materiais mais leves e menos dispendiosos que podem ser utilizados, por exemplo, em novas aplicações de barreira acústica que também estão em harmonia com o meio ambiente e a paisagem.

A minimização de ruído também pode ser abordada por meio do desenvolvimento de novos materiais aplicados às vias. Por exemplo, a utilização de elementos

com base em cortiça permite diminuir as vibrações devido à rigidez do assentamento da via [Amorim, 2021]. Por fim, o desenvolvimento de novos materiais “inteligentes” cuja rigidez e propriedades de amortecimento variam de acordo com as necessidades em qualquer momento do serviço, ou que integrem novas funções, como travessas ou placas de apoio que são capazes de gerar energia a partir das vibrações formadas quando o veículo passa por cima delas (captação de energia), são linhas de desenvolvimento com grande potencial.

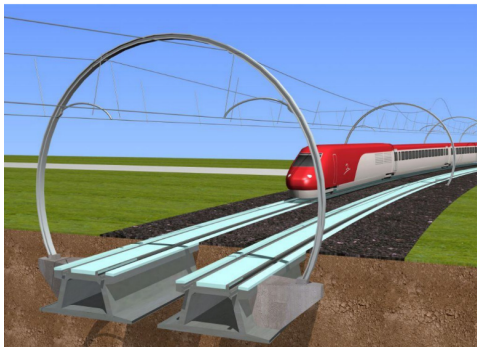
#### **IV. INFRAESTRUTURAS (PARA ALÉM DA PLATAFORMA E DA VIA)**

A catenária, juntamente com outras infraestruturas, elementos de via e de segurança, são campos nos quais a inovação e os novos materiais desempenham um papel fundamental. A necessidade de aumentar a vida útil em condições extremas de temperatura e humidade, o desgaste provocado pelas partículas suspensas pelo vento e as ações derivadas do vento, juntamente com a redução dos custos associados às infraestruturas e manutenção, são fatores que justificam a aplicação de novos materiais nestes equipamentos do sistema ferroviário.

Muitas vezes, as infraestruturas precisam de ser construídas em locais de difícil acesso. Além disso, a complexidade desse tipo de operação pode aumentar consideravelmente devido à indisponibilidade de equipamentos na área necessários para facilitar a sua instalação. Em resumo, a linha aérea, postes, cantiléveres e braços de chamada são, às vezes, peças que são complexas para transportar até ao local de instalação devido ao seu peso e dimensões. É possível recorrer a materiais alternativos que, além de proporcionarem os benefícios necessários, são mais leves e facilitam o transporte e a montagem.

Perfis de materiais compósitos de matriz polimérica oferecem excelentes características em termos de leveza e resistência em condições ambientais extremas de calor e frio, humidade ou radiação solar. A fabricação desses perfis por meio de técnicas de pultrusão é uma solução altamente competitiva, sendo os processos de fabricação e automação de linhas objeto de diversos projetos de I&D. Também há desenvolvimentos em braços de chamada em materiais compostos

de matriz polimérica e esses materiais também estão a contribuir para melhorias no ciclo de vida dos isoladores. Outros componentes, como postes, também podem ser melhorados com o uso desses materiais [Smulders et al., 2011].



**Figura 2.** – Visão de uma catenária em FRP (*Fibre Reinforced Plastics*) [Smulders et al., 2011].

Os fenómenos relacionados com o contato entre a catenária e o pantógrafo sempre foram foco de investigação e desenvolvimento, devido aos problemas de desgaste mecânico e às exigências de propriedades elétricas. Novos materiais podem contribuir para aumentar a vida útil em condições meteorológicas adversas. Desta forma, os estudos tribológicos de materiais têm incidido sobre a melhoria do desempenho, minimizando as perdas de energia e o desgaste. Tradicionalmente, esses estudos têm-se limitado ao cobre eletrolítico (ETP), com ligas de Cr, Zr, Ag e Mg, ou grafite).

Um menor desgaste diminui os custos de manutenção, e uma temperatura de recozimento mais alta aumenta a capacidade do fio de contato de suportar picos de intensidade. O contato entre a catenária e o pantógrafo pode ser melhorado através da utilização de materiais amortecedores nas estruturas de suporte, de forma a minimizar as tensões e o desgaste [Wu, 2018].

No que se refere aos efeitos da ação do vento, existem áreas de I&D&I relacionadas com o desenvolvimento de materiais e revestimentos capazes de suportar a abrasão causada por partículas em suspensão, bem como braços de chamada e tubos cantiléver de maior rigidez e resistência.

Por fim, destaca-se o uso da fibra ótica como ferramenta de monitorização das instalações, não só na plataforma e na via, mas também na catenária.

## V. CONCLUSÕES

O transporte ferroviário está a assumir cada vez mais importância devido às vantagens desse modo de transporte em relação aos concorrentes. Consolidar essa vantagem competitiva num contexto que exige maior flexibilidade, menores custos de construção, manutenção e operação, maiores cargas por eixo e uma maior intensidade de utilização, exige um esforço contínuo de I&D&I. A transferência contínua de conhecimento entre os setores aeronáutico, naval e automóvel e os setores de engenharia civil ou indústria seria esperada, como tem acontecido historicamente. No entanto, enquanto nos outros setores as inovações em materiais proporcionam melhorias constantes, a maioria dos sistemas ferroviários continuou a ser baseada em materiais tradicionais.

A introdução de materiais compósitos e de outros novos materiais no setor ferroviário deve basear-se no conhecimento e na experiência adquirida noutros setores, tendo em conta as estruturas de custos e as exigências específicas das aplicações ferroviárias. Além disso, a crescente consciência social em relação ao respeito pelo ambiente exige que novos materiais sejam desenvolvidos em consonância com os conceitos de sustentabilidade, reaproveitamento e reciclagem. Na verdade, existe um grande número de materiais, naturais ou artificiais, que podem ser utilizados e reutilizados na construção de infraestruturas ferroviárias. No entanto, normalmente as soluções utilizadas na construção de estradas não podem ser aplicadas aos caminhos de ferro, ou pelo menos não em todos os países, uma vez que não são consideradas nos regulamentos e não estão harmonizadas, nem mesmo a nível europeu.

Os aspetos regulamentares também são fundamentais no que diz respeito ao uso de novos materiais na área de material circulante. Um exemplo claro são as restrições introduzidas pelas regras sobre o comportamento ao fogo e fumo (EN-45545) que influenciam a introdução de novos materiais. A regulamentação existente tem-se centrado em orientar o desenvolvimento de veículos baseados em materiais tradicionais, o que significa que existem novos materiais que não são considerados ou aplicáveis.

No que diz respeito à via propriamente dita, o desafio dos fabricantes é o aumento da vida útil sob cargas de serviço, produtos

com maior resistência à fratura, crescimento mais lento de fendas por fadiga e maior resistência ao desgaste. Outros aspectos são o desenvolvimento de tecnologias de soldadura mais eficientes, que visam reduzir os níveis de tensões residuais e as microestruturas indesejadas, o uso do laser para modificar essas estruturas a um nível superficial (laser de endurecimento) ou a deposição do laser.

Existe a necessidade de testar devidamente as novas soluções desenvolvidas através da investigação, tendo condições no terreno para o fazer, com vias e material circulante dedicado.

O CCF assume o desafio de ser a entidade agregadora e de referência na afirmação do setor ferroviário, nacional e internacionalmente, dando realce a um setor com competências e capacidade para a criação de produtos e serviços de elevado valor acrescentado, com grandes potencialidades exportadoras, proporcionado as condições necessárias para que tal se torne possível.

## REFERÊNCIAS

Amorim, Railway Systems, <https://amorimcorkcomposites.com/en/materials-applications/construction/materials-applications/railway/>; acedido em 02/11/2021

Chawla, N., Chawla, K.K., Metal-Matrix Composites in Ground Transportation, *Journal of the Minerals, Metals & Metal Society*, November 2006, 67-70

EU REFRESCO project, Wider application of new materials for lighter and greener trains, 2016, <https://cordis.europa.eu/article/id/190771-wider-application-of-new-materials-for-lighter-and-greener-trains>

Di Mino, G., Di Liberto, M., Maggiore, C., Noto, S., A Dynamic Model of Ballasted Rail Track with Bituminous Sub-Ballast Layer, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53 (2012) 366-378

García-Moreno, F., Commercial Applications of Metal Foams: their Properties and Production, *Materials* 2016, 9, 85, doi:103390/ma9020085

Ibrahima, I.D., Jamirua, T., Sadikub, E., Kupolatic, W., Mpofud, K., Ezea, A., Uwaa, C., Production and Application of Advanced Composite Materials in Rail Cars Development: Prospect in South African Industry, *Procedia Manufacturing* 35 (2019) 471-476

Lu, C., Liu, J., Liu, Y., Liu, Y., Intelligent Construction Technology of Railway Engineering in China, *Front. Eng. Manag.* 2019, 6(4), 503-516

Smulders, H., Wouters, P., Minkman, J., van Waes, J., Revolutionising catenary design: the use of new materials, *Proceed. of the WCCR, Lille*, 2011

Sun, X., Han, X., Dong, C., Li, X., Applications of Aluminium Alloys in Rail Transportation, *in Advanced Aluminium Composites and Alloys*, INTECHOPEN, 2021, doi:105772/intechopen.96442

Ulianov, C., Onder, A., Peng, Q., Analysis and Selection of Materials for the Design of Lightweight Railway Vehicles, *NMCI 2017, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 292 (2017) 012072

Woodhead, D., Investigating the performance of rail steels, *Fields: Journal of Huddersfield student research*, March 2021

Wu, J., Pantograph and Contact Line System, Chapter 8 - Operation and Maintenance of Pantograph and Contact Line Systems, *Academic Press, London*, 2018, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812886-2.00008-2>

Yao, G.-C., Luo, H.-J., Cao, Z.-K., The Manufacturing Technology of Aluminium Foam Material and Some Special Equipments, *Proceed. of ICMSA 2015*, 869-874  
Zhu, J., Birgisson, B., Kringos, N., Polymer modification of bitumen: Advances and challenges, *European Polymer Journal* 54 (2014) 18-38

