

Estudo de resina polimérica para prevenção de desgaste por abrasão em dormentes de concreto

Letícia Andreolli Dias^{1*}, Fabrício Celso¹, Daiana Cristina Metz Arnold¹, Adriana Teresinha da Silva Dutra¹, Carina Mariane Stolz¹, Carlos Leonardo Pandolfo Carone¹, Luciano de Oliveira², Kelyane Sousa³, Gabriel Rangel de Fraga Seimetz¹

¹ Universidade Feevale, ERS-239, 2755. Bairro Vila Nova, 93.525-075, Novo Hamburgo – RS.

² Vale, Av. Dante Michelini, n° 5500, 29.090-900, Vitória – ES

³ Vale, Av. dos Portugueses, s/n°, 65.085-581, São Luís – MA

e-mail: leticia.dias.nh@hotmail.com, fabriciocelso@feevale.br, daim@feevale.br, adrianat@feevale.br, carinastolz@feevale.br, carloscarone@feevale.br, oliveira.luciano@vale.com, kelyane.sousa@vale.com, gabriel.rangelseimetz@gmail.com

RESUMO

A crescente demanda de transporte de minério de ferro e carga geral pelas ferrovias da empresa VALE S.A. exige grande disponibilidade da via permanente. Porém, as grandes quantidades de manutenções exigidas na via impactam negativamente no volume de transportes das ferrovias. Grande parte destas manutenções, em vias com dormentes de concreto, ocorre devido ao desgaste por abrasão da região de assentamento dos trilhos nos dormentes. Neste sentido, a falta de um único dormente pode causar impactos e danos consideráveis em uma ferrovia, devido à distribuição irregular da carga, influenciando na segurança operacional, e, que o concreto apresenta fragilidade quando submetido a elevadas frequências de carregamento e a intempéries, o que causa desgaste do material nas ferrovias. Assim, o presente estudo apresenta uma revisão da literatura sobre o uso de resinas poliméricas para prevenir o desgaste por abrasão dos dormentes de concreto e assim, reduzir custos com manutenções. Conforme a bibliografia, as resinas Epóxi apresentam bom desempenho como revestimentos superficiais em concretos, porém as propriedades mecânicas, químicas e físicas das resinas adotadas no estudo devem ser analisadas para determinar se estas serão capazes de resistir aos esforços aos quais serão solicitadas em ferrovias *Heavy Haul*, visando reduzir as manutenções que são exigidas com os materiais utilizados atualmente.

Palavras-Chaves: Desgaste por Abrasão, Dormentes de Concreto, Resinas Poliméricas.

INTRODUÇÃO

Os componentes das ferrovias de alto tráfego, chamadas de *Heavy Haul*, devem apresentar excelente desempenho a agentes agressivos e ao impacto, para suportar os esforços em que são submetidos. Diante disto, nos últimos anos buscou-se novas tecnologias para aumentar a vida útil das linhas férreas, sendo uma dessas mudanças a troca do dormente de madeira pelo de concreto (ANDERSSON e KAROUMI, 2015 e BASTOS *et al.*, 2018).

Os dormentes são uma das principais estruturas de uma ferrovia, já que são eles os responsáveis por receber as cargas dos trilhos dos trens e distribuí-las para o lastro subjacente, além de manter a largura, a geometria e a estabilidade da linha férrea. Essas



estruturas podem ser de madeira, aço ou de concreto, sendo a última uma das mais utilizadas atualmente em ferrovias de alto tráfego (*Heavy Haul*) por garantir maior estabilidade a via quando comparado aos demais (DNIT, 2015 e BEZGIN, 2017).

Porém, conforme estudos realizados, sabe-se que o concreto pode apresentar fragilidade quando exposto à ambientes agressivos e a cargas elevadas de impacto, como é o caso em ferrovias *Heavy Haul*, sendo este fator um dos principais responsáveis pelas manifestações patológicas que podem ocorrer nos dormentes de concreto (BASTOS *et al.*, 2018).

As manifestações patológicas em dormentes de concreto ocorrem geralmente abaixo do assento dos trilhos nos dormentes e são oriundas das cargas elevadas e constantes a que são submetidos, a fins que ficam dispostos sobre os dormentes e ao ambiente agressivo a que são expostos (NGAMKHANONG, REMENNIKOV e KAEWUNRUEN, 2019 e YOU *et al.*, 2019). A abrasão, que é o desgaste superficial nos dormentes de concreto, é uma das principais manifestações patológicas encontradas neste componente e prejudica a estabilidade da via férrea (YOU *et al.*, 2019 e NGAMKHANONG e KAEWUNRUEN, 2017).

Diante disto, as manutenções em ferrovias *Heavy Haul* ocorrem com frequência, o que é oneroso, visto que o tráfego deve ser paralisado para a substituição ou reparo do dormente de concreto, gerando diminuição no transporte de cargas. Portanto, atualmente são realizados estudos para prevenir que essas manifestações patológicas ocorram em dormentes de concreto, assim, aumentando sua vida útil. Neste sentido, o uso de resinas poliméricas, como a Epóxi, é indicado para a aplicação preventiva de manifestações patológicas em concreto, por apresentar elevadas propriedades mecânicas e resistência à agentes agressivos (DANG *et al.*, 2014).

Porém, o uso deste material apresenta caráter inovador para a indústria de ferrovias, sendo de suma importância esta revisão da literatura para investigar qual a resina mais indicada para a prevenção de abrasão em dormentes de concreto para as ferrovias *Heavy Haul* e, complementarmente, estudar o método ideal de aplicação, de forma a obter uma camada de recobrimento superficial da resina nos dormentes de concreto e o tipo de cura adequado para garantir a melhor aderência ao dormente.

REVISÃO DA LITERATURA

O transporte ferroviário contribui para a economia, por ser um sistema de menor custo por tonelada de carga, quando comparado ao rodoviário, além de ter maior segurança e possuir grande capacidade de transporte. As ferrovias de alto tráfego tornam o transporte de cargas com excesso de peso e volume viável economicamente e devido as velocidades elevadas e constantes, proporcionam menor tempo de entrega das cargas no destino (SOUZA, 2009).

Diante disto, as ferrovias de alto tráfego devem ter constituintes com excelente desempenho frente a cargas elevadas que serão aplicadas. Dentre estes constituintes, o dormente é fundamental na via permanente ferroviária, sendo responsável por suportar as altas solicitações pontuais aplicadas sob os trilhos pelos trens, transferindo-as para as camadas inferiores de lastro e sublastro (SILVA e OLIVEIRA, 2015).

De acordo com Riley e Strong (2003), o concreto vem sendo gradualmente aceito como material para a fabricação de dormentes, principalmente para ferrovias com transporte de carga pesadas. Entre as vantagens do dormente de concreto estão: resistência mecânica elevada, mantendo a geometria e prolongando a vida útil da via. Contudo, os dormentes de concreto podem sofrer uma série de manifestações patológicas que geram a sua deterioração, quando expostos a intempéries e a cargas elevadas, sendo a abrasão uma das principais manifestações patológicas (SILVA, 2015; JANELIUKSTIS, 2019).

A abrasão pode ser descrita como o desgaste superficial da estrutura ou mudança do aspecto visual da mesma. Essa manifestação patológica pode ocorrer devido ao atritamento ou arranhamento de finos na superfície, assim como, exposição a intempéries ou a cargas de impacto elevadas (SILVA, 2015 e SCOTT e SAFIUDDIN, 2015). Neste contexto, o desgaste em um único dormente pode contribuir para a deterioração de outros componentes das ferrovias, gerando grandes irregularidades na linha férrea e afetando a segurança da mesma. Em casos mais extremos pode ocorrer o descarrilhamento dos vagões devido à falta de contato da roda com os trilhos, se o dormente estiver muito danificado (JANELIUKSTIS *et al.*, 2019).

Para a prevenção da abrasão em estruturas de concreto, existem diversos tratamentos de superfície em estruturas novas ou já existentes, podendo ser classificados em inorgânicos e orgânicos, tendo estes, boas propriedades de barreira (BALTAZAR *et al.*, 2014 e PAN *et al.*, 2017b). Diante disto, Dang *et al.* (2014) estudaram a resistência abrasiva de superfícies de concretos com a aplicação de revestimentos orgânicos como

reforço da estrutura. Dentre os revestimentos orgânicos investigados por Dang *et al.* (2014), o Epóxi foi o que obteve melhor desempenho.

Adnan *et al.* (2017) salientam que as resinas Epóxi são geralmente reconhecidas como produtos robustos na categoria de polímeros termoendurecíveis, devido às suas excelentes propriedades mecânicas e fácil aplicação. Essas resinas são comumente utilizadas como revestimentos de proteção tradicional, sendo usadas na indústria da construção há anos. Suas principais vantagens são suas boas propriedades mecânicas, baixa densidade, aumento da vida útil da estrutura, retração mínima após a cura e resistência a agentes agressivos como intempéries (BRULL, 1959 e SAXENA, 2014).

Porém, além de resistência mecânica e as intempéries, a cura da resina Epóxi também é estudada, para atingir um melhor desempenho em um curto período de tempo, conforme necessidade das ferrovias de alto tráfego. Diante disto, a cura por radiação ultra violeta (UV) mostrou-se uma tecnologia com grande variedade de aplicações industriais devido às suas vantagens exclusivas, sendo considerada a forma mais eficaz de transformar rapidamente uma resina líquida sem solvente em um polímero sólido, à temperatura ambiente (DECKER, 2002).

O processo de cura UV é altamente adaptável à revestimentos de proteção de superfície de todos os tipos de materiais. Sendo um processo sem solventes, ele acaba eliminando as emissões voláteis de compostos orgânicos, ocorre em temperatura ambiente de modo que tenha menor consumo de energia e ainda é um processo de alta velocidade (HONG, 2005).

Pesquisas revelam que a temperatura e a radiação ultravioleta afetam eficiência dos tratamentos de superfície, de modo que no revestimento de Epóxi, a concentração de grupos C-C e C-O diminuiu, enquanto os grupos C = O e COO aumentaram, após o envelhecimento. Porém, não há pesquisas que demonstrem o efeito no desempenho de revestimentos de Epóxi na proteção do concreto (PAN *et al.*, 2017b).

Portanto, após identificar que ocorre o processo de abrasão em dormentes de concreto devido às elevadas cargas de impacto e as intempéries, nota-se a necessidade de aumentar a vida útil desta estrutura. Diante disto, o uso de um material eficaz para a prevenção desta manifestação patológica, com alta eficiência mecânica e cura rápida, podem minimizar os custos de manutenção e também preservar a segurança da via férrea. Para tanto, a resina de base Epóxi demonstra bom desempenho para aumento da vida útil de materiais cimentícios, conforme os estudos apresentados, porém, a correta



forma de aplicação, assim como, o tipo da resina e o melhor processo de cura são dados que necessitam estudos aprofundados para a sua determinação.

METODOLOGIA

O método do presente estudo trata-se de uma revisão da literatura com base em artigos científicos sobre o uso de resinas poliméricas como prevenção da abrasão em dormentes de concreto de ferrovias *Heavy Haul*, assim, analisando os métodos e resultados encontrados na literatura sobre o assunto. A pesquisa das referências bibliográficas, utilizadas no presente trabalho, foi dividida nos seguintes tópicos:

- Prevenção da abrasão dos dormentes de concreto com o uso de resina polimérica;
- Caracterização da resina a partir de ensaios;
- Método de aplicação da resina;
- Processo de cura da resina.

Sendo possível descobrir a viabilidade da resina no auxílio da prevenção a abrasão dos dormentes de concreto.

RESULTADOS

Após pesquisa nos artigos publicados, verificou-se que as resinas Epóxi são eficientes para o uso como prevenção de abrasão de superfícies de concreto. Ainda, constatou-se que existem diferentes formas de cura das resinas Epóxi, sendo a mais adotada a UV, conforme Quadro 1.

Quadro 1- Trabalhos publicados sobre prevenção de abrasão em superfícies de concreto

Autores	Resina	Cura	Propriedades analisadas	Conclusão
BALTAZAR <i>et al.</i> , 2014	Resina Epóxi	Ambiente controlado	Rugosidade da superfície; Penetração da resina; Permeabilidade de água; Resistência a abrasão; Resistência ao impacto; Resistência de aderência à tração.	Resina Epóxi criou um filme de proteção na superfície de concreto; aumentou a resistência mecânica; o traço do concreto, assim como, a preparação da base, influenciam no desempenho da resina.
BRULL, 1959	Resina Epóxi	-	Desempenho da resina Epóxi em ambientes corrosivos	A resina Epóxi é eficaz para uso como revestimento de superfícies, aumentando a vida útil e reduzindo custos de manutenção com reparos ou substituição da estrutura.
DANG, 2014	Resina Epóxi, Repelente a água, Polímero, Metacrilato de alto peso molecular, Polímero MMA, Alquiltrialcoxissilano, Alquiltrialcoxi silano compatível com VOC	Ambiente controlado	Resistência à abrasão e à descamação do concreto; permeabilidade de gás; ângulo de contato.	A resina Epóxi apresentou o melhor desempenho contra incrustações de sal e maior resistência à abrasão quando comparadas as demais; A superfície tratada com resina Epóxi apresentou o maior ângulo de contato de água
DECKER, 2002	Polímeros de Acrilato	UV	Radiação; Cinética da polimerização fotoiniciada; Aplicações de polímeros curados por UV.	A polimerização fotoiniciada de monômeros e oligômeros multifuncionais pode ser considerada o método mais eficaz para gerar polímeros tridimensionais instantaneamente;
PAN <i>et al.</i> , 2017a	Revestimentos para proteção de superfícies de concreto	-	Revestimentos de superfície de concreto e Fatores que influenciam o desempenho do tratamento de superfície.	Os revestimentos previnem a entrada de agentes agressivos e aumentam a vida útil de superfícies de concreto; O tratamento da base, assim como, as condições climáticas, influenciam no desempenho do revestimento;
PAN <i>et al.</i> , 2017b	Revestimento acrílico, revestimento de poliuretano, revestimento de Epóxi, silanos, silicato de sódio siloxanos e nano-SiO ₂	-	Permeabilidade de água; Permeabilidade ao cloreto; Carbonatação; Ataque ao sulfato; Resistência ao gelo e degelo; Corrosão da armadura; Durabilidade da estrutura.	Tratamentos à base de sílica auxiliam na resistência mecânica das estruturas; Dentre os revestimentos estudados, a resina Epóxi desempenhou a melhor resistência à abrasão e a incrustação de sal; A maioria dos revestimentos reduz a permeabilidade e a entrada de substâncias agressivas no concreto; os polímeros são mais resistentes a cloreto e são mais eficazes em retardar a carbonatação;

Fonte: Autores, 2020.

Portanto, ao analisar o Quadro 1, percebe-se que os autores indicam o uso da resina Epóxi como revestimento em superfícies de concreto por apresentar o melhor



desempenho quando comparadas a outros revestimentos orgânicos. Por fim, a cura mais indicada para as resinas Epóxi é a UV e a preparação da base tem grande influência no desempenho do revestimento.

CONCLUSÃO

Analisando a literatura já existente, percebe-se que os dormentes de concreto sofrem manifestações patológicas devidos as cargas excessivas e intempéries em que são expostos, sendo uma das principais, a abrasão. Diante disto, estudos buscam a melhor forma de prevenir a superfície de concreto com o intuito de aumentar a vida útil e a capacidade de carga do material, para reduzir as futuras manutenções.

As resinas Epóxi são indicadas pela literatura para uso como revestimentos em estruturas de concreto, aumentando a capacidade de carga, a resistência a agentes agressivos e garantindo maior vida útil a estrutura. Dentre o tipo de cura utilizado nessas resinas, a cura UV se destaca por apresentar o melhor desempenho, proporcionando a secagem quase instântanea do revestimento. Porém, os estudos sobre esse sistema de prevenção de abrasão de dormentes de concreto ainda são escassos, devendo-se analisar a resina com o melhor desempenho para as ferrovias *Heavy Haul*.

REFERÊNCIAS

- ADNAN, S. H.; ALSONOSI, A. A.; ADNAN, S. W. **Study on Concrete Containing Recycled Aggregates Immersed in Epoxy Resin**. MATEC Web of Conferences, v. 87. 2017.
- ANDERSSON, A.; KAROUMI, R. **Dynamics of railway bridges, analysis and verification by field tests**. MATEC Web of Conferences, v. 24, p. 1-12, Out. ,2015.
- BALTAZAR, L.; SANTANA, J.; LOPES, B.; CORREIA, J. R.; RODRIGUES, M. P. **Superficial protection of concrete with epoxy resin impregnations: influence of the substrate roughness and moisture**. Materials and Structures. 2014.
- BASTOS, J. C.; EDWARDS, J. R.; DERSCH, M. S.; ANDRAWES, B. O. **Laboratory analysis of track gauge restraining capacity of centercracked railway concrete sleepers with various support conditions**. Engineering Failure Analysis, v. 94, p. 354-363, Dez. 2018.
- BEZGIN, N. Ö. **High performance concrete requirements for prefabricated high speedrailway sleepers**. Construction and Building Materials. 2017.



- BRULL, H. **Epoxy resin-based coatings in corrosive environments.** Shell International Chemical Co. Ltd. 1959.
- DANG, Y.; XIE, N.; KESSEL, A.; MCVEY, E.; PACE, A.; SHI, X. **Accelerated laboratory evaluation of surface treatments for protecting concrete bridge decks from salt scaling.** Construction and Building Materials, v. 55, p. 128-135, Mar. 2014.
- DECKER, C. **Kinetic Study and New Applications of UV Radiation Curing.** Macromol. Rapid Commun, v. 23, p. 1067-1093. 2002,
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **ISF-213: Projeto de superestrutura da via permanente- Trilhos e Dormentes.** 2015.
- HONG, B. T.; SHIN, K. S.; KIM, D. S. **Ultraviolet-Curing Behavior of an Epoxy Acrylate Resin System.** Journal of Applied Polymer Science, v. 98, p. 1180-1185. 2005.
- JANELIUKSTIS, R.; CLARK, A.; PAPAELIAS, M.; KAEWUNRUEN, S. **Flexural cracking-induced acoustic emission peak frequency shift in railway prestressed concrete sleepers.** Engineering Structures, v.178, p. 493-505, Jan. 2019.
- NGAMKHANONG, C.; LI, D.; KAEWUNRUEN, S. **Impact Capacity Reduction in Railway Prestressed Concrete Sleepers with Surface Abrasions.** Materials Science and Engineering, v.245. 2017.
- NGAMKHANONG, C.; LI, D.; REMENNIKOV, A. M.; KAEWUNRUEN, S. **Dynamic Capacity Reduction of Railway Prestressed Concrete Sleepers Due to Surface Abrasions Considering the Effects of Strain Rate and Prestressing Losses.** International Journal of Structural Stability and Dynamics, v. 19, n. 1, p. 1-13, Jan. 2019.
- PAN, X.; SHI, Z.; SHI, C.; LING, T.; LI, N. **A Review on Surface Treatment for Concrete- Part 1: Types and Mechanisms.** Construction and Building Materials, v. 133p. 81-90. 2017a.
- PAN, X.; SHI, Z.; SHI, C.; LING, T.; LI, N. **A Review on Surface Treatment for Concrete- Part 2: Performance.** Construction and Building Materials, v. 133p. 81-90. 2017b.
- RILEY, J. E.; Strong, J. C. **Basic Track In: American Railway Engineering and Maintenance of Way Association – AREMA. Practical Guide To Railway Engineering.** Lanham, MD, USA. p. 67-147. 2003.



SAXENA, S. K. **“Epoxy resin-its application in structural repairs”**. Government of India, Ministry of railways, Gwalior, India. 2014.

SCOTT, B. D.; SAFIUDDIN, M. **Abrasion Resistance of Concrete- Design, Construction and Case Study**. Concrete Research Letters, v. 6, Ago. 2015.

SILVA, C. V. **Estudo da influência das propriedades relacionadas à superfície e à matriz na resistência à abrasão de concretos para pisos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. 2015.

SILVA, R. S.; OLIVEIRA, A. M. **Falha de um Dormente de Concreto por Deterioração da Região de Apoio dos Trilhos - Causas e Consequências**. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet. Ouro Preto, Nov. 2015.

SOUZA, M. L. A. **A Importância da Malha Ferroviária e sua Situação Crítica**. Curso de Especialização em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte. 2009.

YOU, R.; GOTO, K.; NGAMKHANDONG, C.; KAEWUNRUEN, S. **Nonlinear finite element analysis for structural capacity of railway prestressed concrete sleepers with rail seat abrasion**. Engineering Failure Analysis, v. 95, p. 47-65, Jan. 2019.