Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE ENXOFRE A GRANEL NA BAIXADA SANTISTA: ANÁLISE DO DESGASTE DE VAGÕES POR CORROSÃO E SUA RELAÇÃO COM FALHAS OPERACIONAIS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS - UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA VLI-TIPLAM

BULK SULFUR RAIL TRANSPORT IN BAIXADA SANTISTA: ANALYSIS OF THE WAGON WEAR DUE TO CORROSION AND ITS RELATION TO OPERATIONAL FAILURES AND SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACTS - A CASE STUDY AT VLI-TIPLAM

Anne Caroline Gomes Rodrigues, Clara Lopes Sestaro, Gabriela Domingues de Queiroz, Giulia Iraha Cardoso dos Santos, Isabeli Moreira Suisso, Rafael Martins Gomes

Etec de Praia Grande - SP, Curso de Logística
rafael.importante@bol.com.br

RESUMO – O presente projeto aborda as falhas operacionais no transporte ferroviário de enxofre e seus impactos socioambientais. Foram consideradas as características corrosivas do enxofre e o fator meteorológico litorâneo, que ocasionam o desgaste dos vagões Hopper fechados e geram descarrilamentos, vazamentos de carga, além de custos elevados. Desta forma, questiona-se: De que maneira a corrosão nos vagões ferroviários de enxofre a granel contribui para falhas operacionais e impactos socioambientais na Baixada Santista? O projeto utiliza uma pesquisa qualiquantitativa, com experimento prático e a empresa VLI-TIPLAM como objeto de estudo. Os resultados confirmaram a problemática e evidenciaram a necessidade de um plano de manutenção estratégico.

Palavras-chave: enxofre; transporte ferroviário; vagão HPE; impactos socioambientais; corrosão.

ABSTRACT – The project aims to address operational flaws in sulfur's rail transport and its socio-environmental impacts. Sulfur's corrosive characteristics and the meteorological factors cause the wear and tear of the Closed Hopper wagons, leading to derailments, cargo leaks and high costs. Thus, it is questioned: How does the sulfur's wagon corrosion contributes to operational flaws and socio-environmental impacts in Baixada Santista? The project uses a qualitative-quantitative research approach, with a practical experiment and the company VLI-TIPLAM as a case study. The results confirmed the problem and demonstrated the need for a strategic maintenance plan.

Keywords: sulfur; rail transport; HPE wagon; socio-environmental impacts; corrosion.

ISSN 2317-1316

1. INTRODUÇÃO

O enxofre é um elemento químico classificado como Classe 4, Subclasse 4.1 (sólido inflamável). Transportado em sua grande maioria pelo modal ferroviário, esse insumo é uma carga fundamental para a economia brasileira agrária e industrial, uma vez que seu uso varia desde fertilizantes até produtos farmacêuticos.

No entanto, a locomoção férrea de enxofre a granel tem severas dificuldades relacionadas à corrosão de vagões causadas pelo alto teor corrosivo da carga. Para Gentil (1998), o material que sofre os efeitos da corrosão muda constantemente, de forma que seu desempenho e durabilidade perdem a utilidade para que foram propostos. O fenômeno citado, somado a fatores geográficos que aceleram a deterioração do metal, como a umidade marítima de regiões litorâneas, pode acarretar em descarrilamentos, tombamentos ou vazamentos de carga e, por consequência, gerar impactos socioambientais.

Entre os equipamentos utilizados do transporte ferroviário de enxofre a granel, destaca-se os vagões Hopper fechado (HPE). Fabricados em aço de baixa liga, com base em formato de funil e sistema de descarga inferior, sua estrutura é projetada para oferecer resistência e segurança no transporte de grãos e fertilizantes, como o enxofre.

À vista disso, o presente projeto tem como objetivo analisar o desgaste dos vagões HPE devido à corrosão por enxofre e comparar estratégias de manutenção na Baixada Santista. Portanto, será discutido a importância da eficiência logística no transporte ferroviário de enxofre a granel, visto que a ineficiência desta operação pode ocasionar graves prejuízos econômicos e consequências socioambientais, uma vez que os descarrilamentos de vagões carregados de enxofre geram contaminação no solo, ar e água, o que, por conseguinte, afeta a saúde da população.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) (1956), são considerados produtos perigosos os materiais que representam possíveis riscos ambientais, à saúde e às propriedades públicas e privadas.

Para garantir a qualidade e a eficiência das pesquisas, utiliza-se o Terminal Integrador Portuário Luiz Antonio Mesquita (TIPLAM) como objeto de estudo, visto que é um importante ativo da empresa VLI referente ao transporte ferroviário de enxofre a granel e está localizado

ISSN 2317-1316

em Santos - SP. Os dados coletados serão submetidos à análise e, posteriormente, utilizados para a elaboração de um modelo de plano de manutenção, com técnicas de prevenção e tratamento da corrosão, além de especificações voltadas aos vagões HPE responsáveis pela movimentação desse insumo.

Neste contexto, o presente projeto faz uso das seguintes ferramentas logísticas: Análise PESTEL (políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ecológicos e legais), Análise SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats), Diagrama de Ishikawa e MASP (Método de Análise e Solução de Problemas). A aplicação das ferramentas ocorreu de forma hipotética, voltada a análise das falhas operacionais advindas da corrosão dos vagões ferroviários que transportam enxofre a granel.

Dessa forma, o projeto busca contribuir para a compreensão dos impactos corrosivos do enxofre a granel sob a integridade estrutural dos vagões, bem como os fatores que aceleram ou retardam esse processo, com o foco em mitigar os possíveis impactos socioambientais decorrentes das falhas dessa operação na Baixada Santista.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto caracteriza-se como uma pesquisa explicativa e exploratória, com abordagem qualiquantitativa, voltada à análise dos impactos do transporte ferroviário de enxofre a granel na estrutura dos vagões Hopper fechados (HPE). Dessa forma, objetiva-se investigar a corrosão, o desgaste estrutural, as falhas operacionais e os possíveis impactos socioambientais relacionados à atividade por meio de um estudo de caso na empresa VLI-TIPLAM.

Os métodos, exploratório e explicativo, foram selecionados pois permitem a compreensão aprofundada dos procedimentos logísticos e operacionais. Além disso, viabilizam a análise da relação entre a exposição dos materiais metálicos à substância transportada, os processos corrosivos nos vagões e as possíveis consequências operacionais decorrentes do desgaste mencionado.

A abordagem qualiquantitativa será utilizada para compreender experiências e dificuldades relatadas por profissionais da área de manutenção e logística ferroviária, bem como

ISSN 2317-1316

analisar dados técnicos, frequência de manutenções, índices de desgaste estrutural e resultados obtidos no experimento comparativo.

Os procedimentos metodológicos serão aplicados por meio de revisão bibliográfica, análise documental, entrevistas semiestruturadas, experimentos laboratoriais e levantamento e interpretação de dados técnicos e de operação.

As revisões bibliográficas e análises documentais serão empregadas como fundamento teórico do trabalho. Para isso, se utilizará de livros, artigos científicos, documentos técnicos, relatórios institucionais, normas regulamentadoras e planos de manutenção. Adicionalmente, a equipe realizará entrevistas com funcionários da empresa objeto de estudo, VLI-TIPLAM, com o objetivo de reunir informações acerca dos procedimentos de manutenção dos vagões HPE e das principais falhas e desafios enfrentados nas operações logísticas do transporte ferroviário de enxofre a granel.

Os dados coletados através das técnicas mencionadas poderão contribuir significativamente para o desenvolvimento do projeto e auxiliar a elaboração do experimento comparativo dos efeitos corrosivos do enxofre sobre o principal material que compõem a estrutura dos vagões ferroviários. Do mesmo modo, serão construídas tabelas, gráficos, comparações estatísticas e relatórios relacionadas aos processos de corrosão e manutenção, com a finalidade de compreender os impactos operacionais, estruturais e socioambientais relativos ao desgaste dos vagões ferroviários HPE e confeccionar um modelo de plano de manutenção estratégico, otimizado e personalizado para essa categoria.

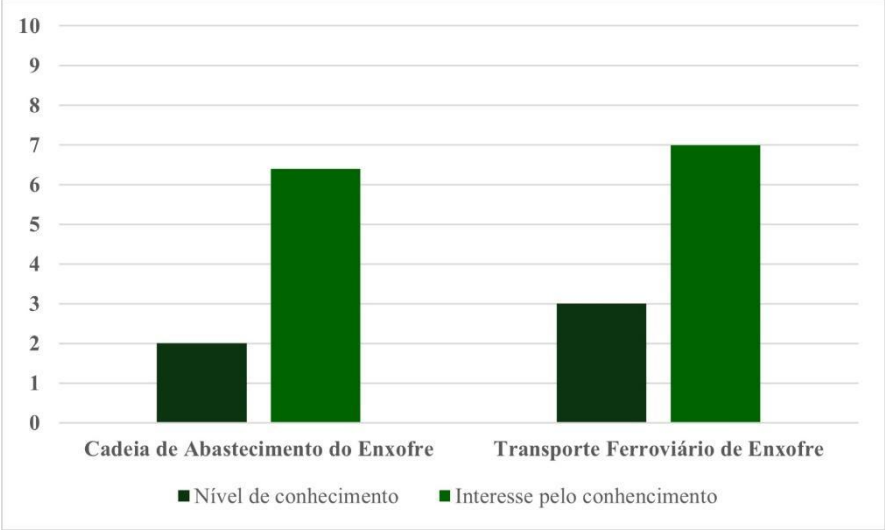
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada uma pesquisa de campo geral para analisar o conhecimento do público acerca do elemento químico enxofre. O estudo obteve 213 respostas. A partir da análise dos resultados obtidos, percebe-se que o público, constituído majoritariamente por pessoas do sexo feminino na faixa etária de 18 anos, desconhece os processos relacionados à cadeia de abastecimento do enxofre e o transporte ferroviário dessa substância. Quanto ao interesse em compreender os processos do transporte ferroviário de enxofre a granel na Baixada Santista, foi obtido um resultado positivo, uma vez que maior parte dos entrevistados afirma que teria

ISSN 2317-1316

curiosidade de conhecê-los. Na figura abaixo é possível observar esses resultados/ Assim como observado no gráfico abaixo.

Figura 1: Conhecimento e interesse sobre a cadeia de abastecimento e o transporte de enxofre.



Na análise da pesquisa de campo específica, foi constatado que há corrosão dos vagões HPE durante o transporte de enxofre a granel. Além disso, observou-se que há um plano de manutenção específico somente do TIPLAM, o que reforça a necessidade de especificação dos planos de manutenção para regiões de umidade elevada. Compreende-se também que existe a vistoria e manutenção dos equipamentos constantemente e que os funcionários são treinados para identificar visualmente os sinais de corrosão dos vagões.

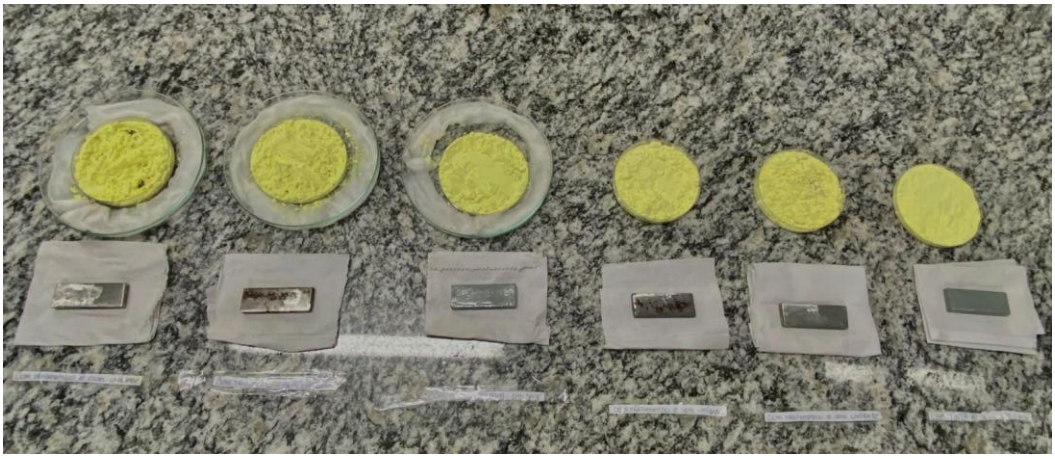
ISSN 2317-1316

Figura 2: Visita técnica à VLI.



Para comprovar os dados obtidos pelas pesquisas de campo e confirmar o efeito do enxofre sobre os vagões, foi realizado um experimento no dia 07 de agosto de 2026, o qual utilizou enxofre, peças de aço e algodões umedecidos. Foram separadas seis amostras sob diferentes condições, sendo três expostas à umidade (uma revestida com tinta, uma com spray anticorrosivo e outra sem tratamento) e três mantidas em ambiente seco (uma com spray, uma com tinta, uma sem revestimento). A disposição das amostras pode ser vista abaixo, conforme disposto na imagem abaixo.

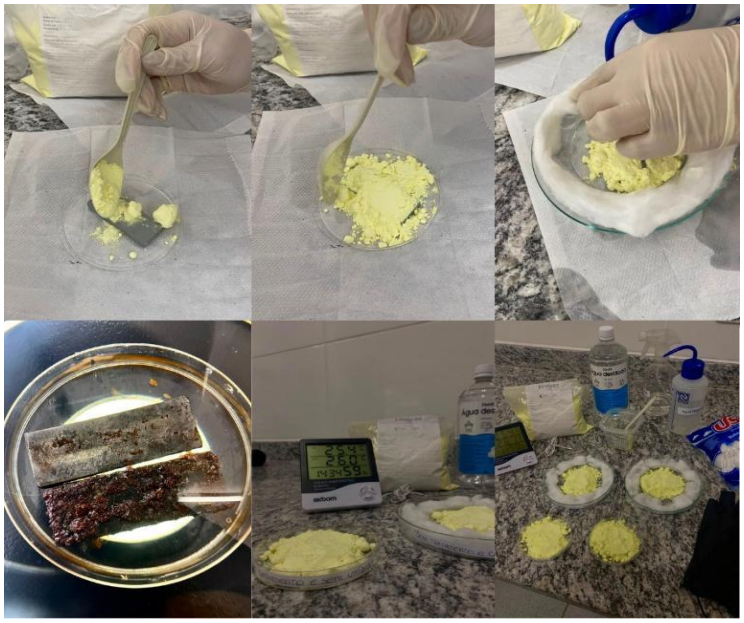
Figura 3: Amostras do experimento.



ISSN 2317-1316

Com a realização do experimento, a equipe pôde observar de perto a corrosão do aço exposto ao enxofre. No período de 8 semanas, ficou evidente que, a exposição dos materiais à essa substância pode deteriorar os vagões e essa deterioração pode ser agravada se somada à umidade elevada. Observou-se que a corrosão se instaurou principalmente na lateral das peças de aço, o que corresponderia às paredes laterais ou às chapas do quadro lateral dos vagões HPE, justamente as partes mais afetadas pela corrosão. Também foi testada a eficácia da tinta e spray anticorrosivos na prevenção da deterioração do aço e a sua aplicação em casos de restauração de peças previamente corroídas.

Figura 4: O experimento.



Dessa forma, compreende-se que a corrosão dos vagões que transportam enxofre a granel pode afetar os processos da cadeia de abastecimento do insumo, de modo a gerar impactos socioambientais e econômicos.

4. CONCLUSÃO

A elaboração do presente estudo possibilitou uma análise profunda acerca dos impactos do fator corrosivo do enxofre a granel nos vagões HPE. Por meio da análise, foi possível

ISSN 2317-1316

determinar que a combinação entre propriedade oxidativa do enxofre e condições meteorológicas litorâneas, em particular a umidade elevada e a maresia, podem contribuir para a aceleração da deterioração dos componentes dos vagões. A alternativa construída define-se como a adoção de medidas de manutenção adequadas e a busca por novas soluções, visto que podem contribuir para a conservação dos equipamentos e redução de riscos relacionados a vazamentos e descarrilamento decorrentes de falhas estruturais. Neste contexto, constatou-se que a utilização das ferramentas logísticas: Diagrama de Ishikawa, MASP e FMEA combinadas estrategicamente com o uso de ações preditivas, preventivas e corretivas aumentam a eficiência logística e a segurança do transporte. Também se utilizou as análises PESTEL e SWOT para avaliar o cenário macro e microeconômico desse processo. Em síntese, o estudo propõe um modelo de plano de manutenção de vagões HPE para mitigar os riscos relacionados à atividade. Por fim, ressalta-se que o tema apresenta possibilidades para futuras pesquisas que podem complementar o estudo.

5. DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Não foram utilizadas ferramentas de IA no desenvolvimento desse artigo.

6. REFERÊNCIAS

ARENHART, Jeison. Diagrama de Ishikawa: O que É e Como Usar? Disponível em: <https://blogdaqualidade.com.br/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 9 set. 2026.

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

COSTA, Giulia. O que são ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável): guia. Disponível em: <https://sitawi.net/ods/>. Acesso em: 26 set. 2026.

DE TRUQUES, Classificação Hpe Comprimento Entre Centros. CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES GERAIS (APROXIMADAS). Disponível em: <https://gbmx.com.br/wp-content/uploads/2026/06/gbm_013_hpe.pdf>. Acesso em: 9 out. 2026.

DIAMANTINO, Maria. MASP Qualidade: o que é o Método de Análise e Solução de Problemas. Disponível em: <https://www.sydle.com/br/blog/masp-qualidade-62bc6a26bc6a6423db428948>. Acesso em: 26 set. 2026.

ISSN 2317-1316

DIEZ, Fernanda. O que é Metodologia MASP? Saiba como aplicar na sua empresa. Disponível em: <https://checklistfacil.com/blog/metodologia-masp/>. Acesso em: 9 set. 2026.

Enxofre: características, alotropia e aplicações. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/enxofre.htm>. Acesso em: 22 ago.. 2026.

FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos). Disponível em: <https://tractian.com/glossario/fmea-failure-mode-and-effects-analysis>. Acesso em: 10 out. 2026.

GBMX - Boletim técnico vagão hopper fechado. Disponível em: https://gbmx.com.br/wp-content/uploads/2026/06/gbm_013_hpe.pdf. Acesso em: 17 de agosto de 2026.

GENTIL, Vicente. Corrosão. Rua Dona Brígida, 701 - Vila Mariana, São Paulo: LTC, 2011.

Gestão de riscos no IBAMA. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/gestao-de-riscos-no-ibama>. Acesso em: 23 set. 2026.

NONATO, Livia. FMEA: o que é, como fazer e as etapas. Gestão da Inovação e Estratégia - Blog AEVOAEVO, 19 set. 2024. Disponível em: <https://blog.aevo.com.br/fmea/>. Acesso em: 10 out. 2026

Proteção contra corrosão em ambientes ferroviários. Koria - Tudo Para PintarKoria, , 23 abr. 2024. Disponível em: <https://share.google/S48j881AmwN2i97kl>. Acesso em: 22 set. 2026.

TELES, Jhonata. FMEA: O que é e como fazer. Disponível em: <https://engeteles.com.br/fmea-o-que-e-como-fazer/>. Acesso em: 10 out. 2026.

Terminal Integrador Portuário Luiz Antonio Mesquita (TIPLAM) –. Disponível em: <https://www.vli-logistica.com.br/ativos-mapa/terminal-integrador-portuario-luiz-antonio-mesquita-tiplam/>. Acesso em: 22 set. 2026.

RAEBURN, Alicia. Análise SWOT/FOFA: o que é, como fazer e exemplos [2026]. Disponível em: <https://asana.com/pt/resources/swot-analysis>. Acesso em: 9 set. 2026.

ROHR, Rebeca. Como antecipar riscos e oportunidades com a análise PESTEL. Disponível em: <https://mereo.com/hub/analise-pestel/>. Acesso em: 1 set. 2026.

RUY, V. Corrosão: Desafios no Setor Ferroviário - Corrosion: Challenges in the Railway Sector. Tectyl Latin America, 16 ago. 2024. Disponível em: <https://www.alkim.com.br/post/corros%C3%A3o-desafios-no-setorferrovi%C3%A1rio-corrosion-challenges-in-the-railway-sector>. Acesso em: 22 set. 2026.

ISSN 2317-1316

Vibra energia - Ficha de emergência do enxofre. Disponível em: https://www.vibraenergia.com.br/sites/default/files/pdfs/fe-prodquim-enx-enxofre-solido-rev004_0.pdf.

VLI atinge recorde histórico de movimentação de fertilizantes no Tiplam. Disponível em: <https://www.tecnologistica.com.br/noticias/geral/20551/vli-atinge-recorde-historico-de-movimentacao-de-fertilizantes-no-tiplam/>. Acesso em: 22 set. 2026.

VLI LOGÍSTICA S.A. Apostila básico: vagões. Belo Horizonte: VLI Logística S A.

VLI, LOGÍSTICA S. A. Vagões e Manutenção: VLI Logística S A.