



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA DE VIBRAÇÕES PARA ANÁLISE E MANUTENÇÃO EM RODAS FERROVIÁRIAS

INTRODUÇÃO

O setor ferroviário vem crescendo de maneira expressiva durante os últimos anos, seja para carregamento de cargas ou de passageiros. Devido aos altos gastos com manutenção de rodovias, e o grande número de acidentes envolvendo caminhões que transportam cargas e até carros de passageiros, o transporte sobre trilhos se torna mais vantajoso, tornando-se uma alternativa ao transporte rodoviário.

Tendo em vista esta ampliação no setor, os estudos para melhorar o transporte sobre trilhos são de extrema importância para um transporte de qualidade, gerando maior satisfação dos passageiros, segurança e menor custo de manutenção.

Pensando nisso, analisando o conjunto rodante um dos elementos de maior criticidade para o transporte sobre trilhos é a roda, por ser o componente que conduz e sustenta os carros de

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

uma composição ferroviária, a qual está em constante contato com o trilho, gerando defeitos por RCF (*Rolling Contact Fatigue*). Defeitos nesse componente podem gerar um descarrilhamento com grande perda de materiais, bem como vidas humanas.

Segundo Domingos Minicucci (2003), as rodas são trocadas geralmente quando chegam no final de sua vida, devido ao desgaste sofrido com altas cargas térmicas em frenagens severas, mas grande parte destas rodas são condenadas visualmente, pela presunção de terem recebido uma possível carga térmica anormal em frenagens severas.

A inspeção visual empregada na manutenção de rodas nas empresas ferroviárias, acabam levando a decisões erradas quanto à situação das rodas, pois rodas com tensão de tração ou micro trincas podem passar despercebidas em inspeções de rotina, e serem posteriormente a causa de graves acidentes. (Minicucci, 2003).

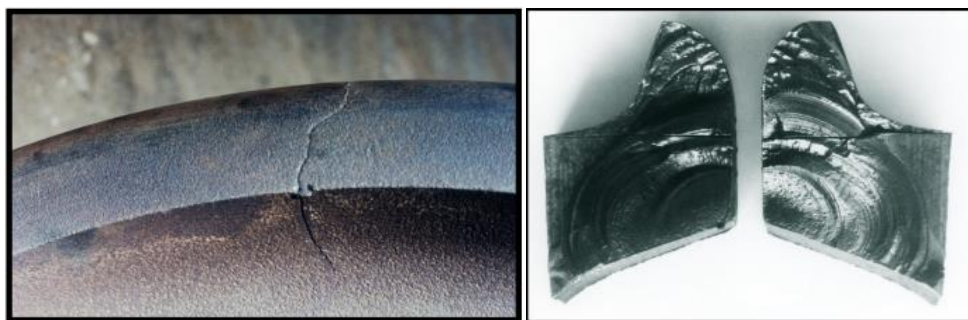


Figura 1 – Roda quebrada em serviço por trinca térmica. Fonte: Minicucci (2003).

Os danos causados pelo contato roda trilho são um grande problema na ferrovia, acarretando grandes gastos com a manutenção e podendo resultar em acidentes (Lewis et. Al., 2009).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Portanto, é necessária a elaboração de uma revisão quanto aos aspectos da atual forma de planejamento e prática de manutenção de rodas ferroviárias.

Pensando assim, neste trabalho será utilizada eletrônica de vibração, para a identificação de possíveis desgastes em rodas ferroviárias. Os dados coletados dos testes possibilitarão a revisão do método de manutenção utilizado atualmente, criando um método que irá otimizar a manutenção, diminuir os custos com manutenção e aumentar a segurança no transporte de passageiros.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

DIAGNÓSTICO

Este trabalho tem por objetivo a aplicação de tecnologia de vibração para a detecção de defeito em rodas ferroviárias, assim sendo possível uma melhora na forma de realização de manutenção, já que a inspeção feita hoje ainda é apenas visual deixando com que alguns defeitos passem despercebidos gerando acidentes com perda de materiais e até de vidas humanas.

O método adotado para a detecção de defeitos foi a instrumentação dos trilhos com acelerômetros para a captura de vibrações de média a alta amplitude, amplitudes essas causadas principalmente por calos e níveis elevados de escamações nas rodas. Foram instalados dois acelerômetros do modelo VSA001 nos trilhos, e para a captação dos dados foi utilizada a eletrônica de análise VSE002, ambos equipamentos da IFM ELETRONIC.



Figura 2 – VSE002 e VSA001. Fonte: IFM, 2023.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O software utilizado para armazenamento e análise dos dados coletados pelos sensores foi o VES004 PARAMETER-SW, software dedicado a parametrização de vibrações detectadas pelos sensores utilizados. Estes sensores e softwares nunca foram utilizados para a aplicação desta pesquisa, o que é de conhecimento que seria uma dificuldade, pois não existem parametrizações padrões para a detecção de vibrações em rodas, e sim para vibrações de equipamentos mais comuns como rolamentos.

Para a montagem do sistema de captação de vibrações foi utilizado um cabo RJ45, uma fonte de 24Vdc e 2,1ª, um par de cabos M12 quatro pinos, 10 metros de cabo PP 2x1,5mm, o conjunto da eletrônica e fonte foi instalado em uma caixa com tampa em acrílico para a melhor visualização dos equipamentos durante os testes, conforme a figura 3.

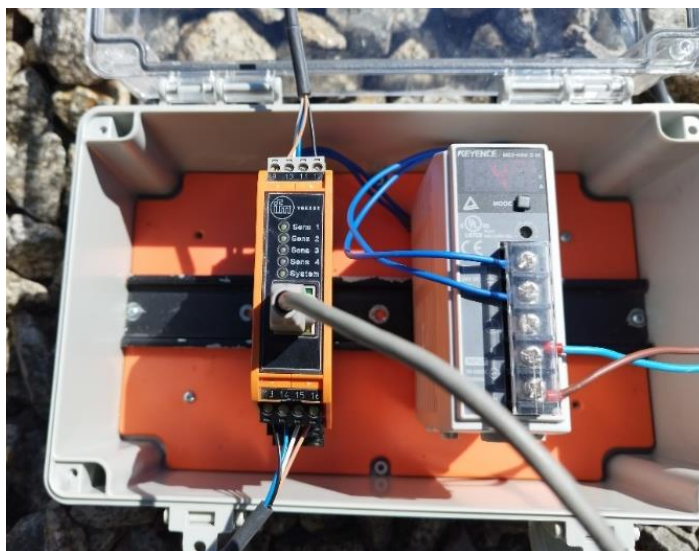


Figura 3 – Eletrônica montada. Fonte: Autores,2023.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma via já dedicada a testes, pela empresa estar recebendo composições novas. Nesta via havia uma outra via ao lado e ao outro lado mais duas, sendo essas duas vias de operação, e como os ensaios foram realizados em horário de operação havia movimentação de trens nessas outras duas vias. A via utilizada para os testes tinha 1 quilômetro, limitando as velocidades que poderiam ser realizadas durante os ensaios. A via indicada pela seta branca a esquerda é a via de testes, já as vias indicadas pelas setas laranjas a direita são as vias em operação.



Figura 4 – Via de testes e via de operação. Fonte: Autores, 2024.

Para a fixação dos sensores foi pensada em uma forma que não interferisse na operação, pois não poderia ser feito qualquer tipo de alteração nos trilhos. Dessa forma, primeiramente foi

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

pensada em uma fixação por grampos que seria posicionada na região inferior do patim do trilho, mas não era possível saber se haveria espaço o suficiente para a instalação dos sensores por grampo, pelo motivo de que nessa área haver lastro, o que poderia inviabilizar a instalação dessa forma. Por este motivo, foi confeccionada uma fixação magnética, foram utilizados ímãs de capacidade de até 60kg.

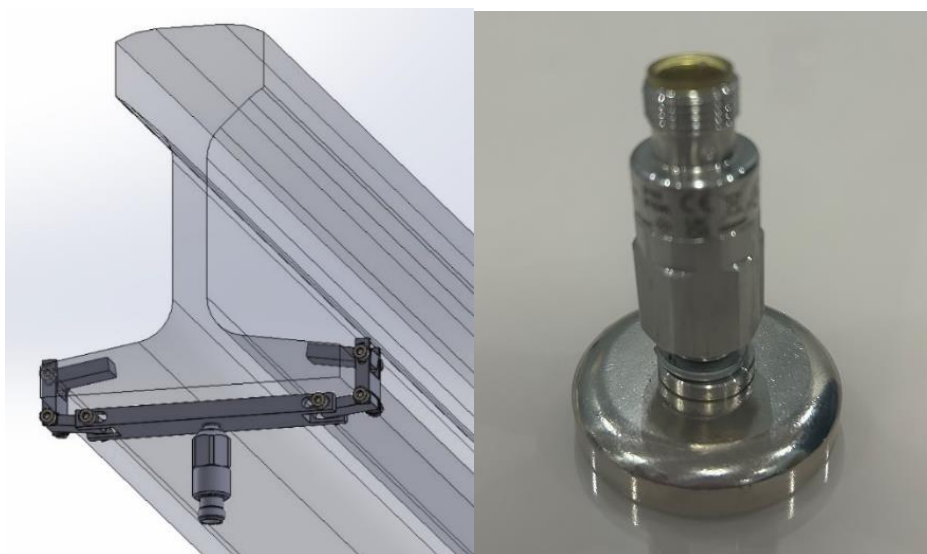


Figura 5 – Grampo e base magnética. Fonte: Autores, 2023.

Os ensaios foram realizados em uma composição nova de trens, composição que ainda não estava em operação e nem havia passado pela marcha branca, sendo assim os testes foram realizados em rodas novas. Possibilitando a identificação de vibrações padrões de rodas novas.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 6 – Truque da composição utilizada nos testes. Fonte: Autores, 2023.

Durante os ensaios foram testadas três posições diferentes para os sensores na intenção de encontrar qual posição daria um melhor espectro de vibração, e três velocidades diferentes, sendo que não foi possível manter a velocidade totalmente constante por limitações do trem, houve algumas acelerações.

Na primeira posição os sensores foram instalados na alma dos trilhos, cada um de um lado, sensor um a esquerda da imagem e sensor dois a direita. Neste teste a velocidade do trem foi de 20 km/h.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 7 – Primeiro posicionamento dos sensores. Fonte: Autores, 2023.

Na segunda posição foi instalado um sensor na alma e outro no patim do trilho, na área inferior do patim. Neste teste a velocidade utilizada foi de 25 km/h.



Figura 8 – Segunda posicionamento dos sensores. Fonte: Autores, 2023.

Na terceira e última posição, foi mudada a localização apenas do sensor um, ele agora foi para a parte superior da alma do trilho, e estava ao lado da fixação trilho-dormente, na intenção de captar menos ruídos externos. Para este teste foi utilizado uma velocidade de 40 km/h.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 9 – Terceiro posicionamento dos sensores. Fonte: Autores, 2023.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Primeiramente, os sensores foram posicionados na alma do trilho (Figura 7), ao analisar o gráfico de dados de vibrações foram identificadas duas condições:

1. Os sensores estavam captando vibrações das outras vias em operação;
2. Foram identificados os 8 carros de uma composição.

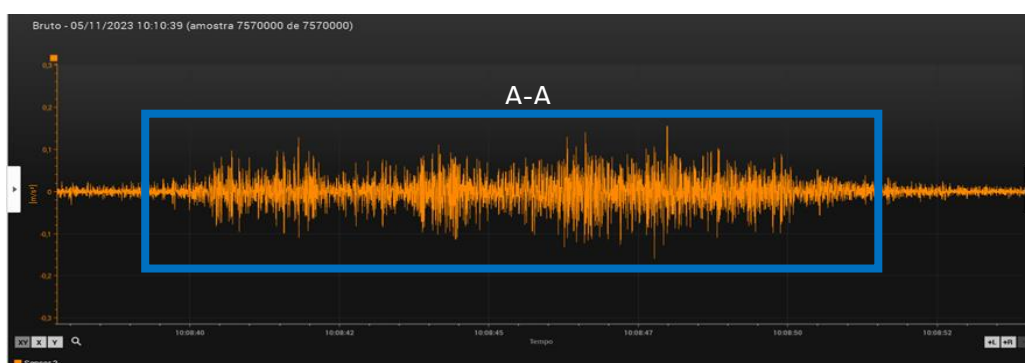


Figura 10 – Análise global da primeira posição dos sensores. Fonte: Autores, 2023.

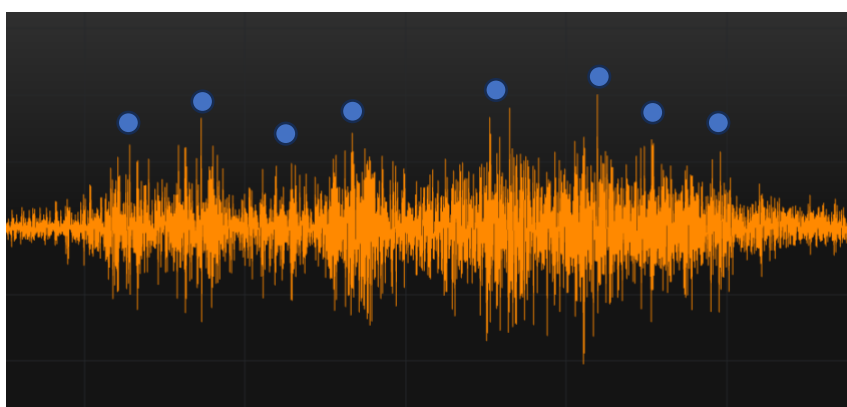


Figura 11 – Detalhe A-A. Fonte: Autores, 2023.

A partir desses dados adquiridos pelo software, foi tabelado e realizado o cálculo de desvio padrão analisando os picos de acelerações de cada carro da composição.

**30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Tabela 1 – Valores aproximados de pico de aceleração primeira posição. Fonte: Autores, 2023.

Valores Aproximados de Picos de Vibração em Cada Carro	
Carro	Valor de Pico (m/s ²)
1	0,0955
2	0,1433
3	0,0716
4	0,1194
5	0,1433
6	0,1673
7	0,0955
8	0,0716
Desvio Padrão:	0,033287608

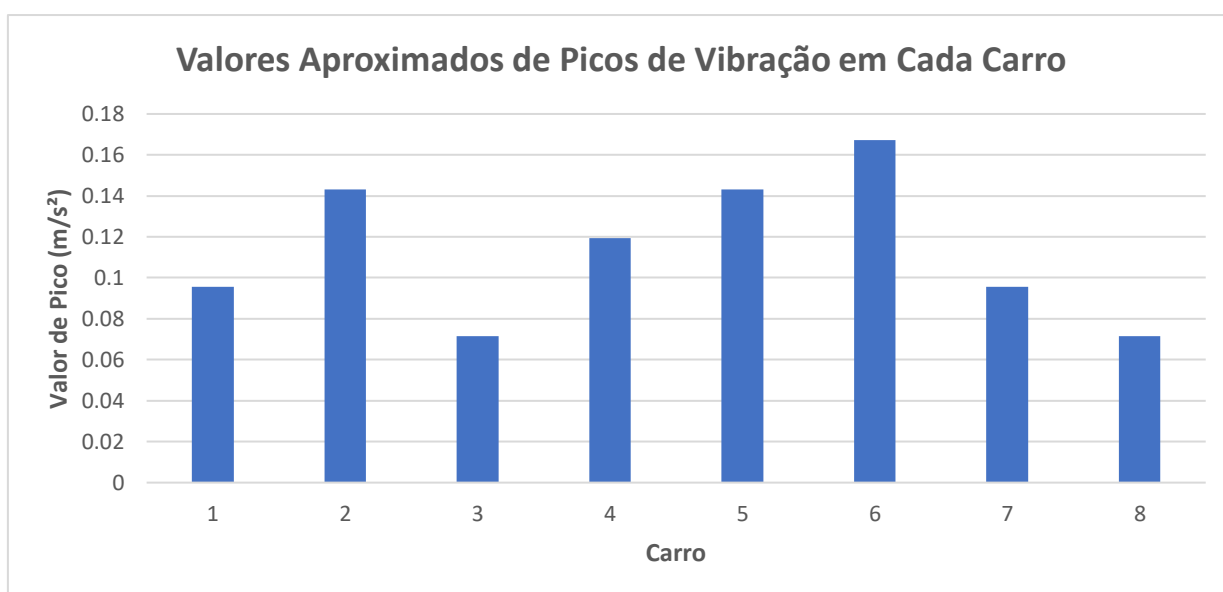


Figura 12 – Gráfico aproximados de pico de aceleração primeira posição. Fonte: Autores, 2023.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Devido ao primeiro diagnóstico da primeira passagem da composição, captação de vibrações de outras vias, foi decidido mudar os sensores de posição.

Na segunda posição dos sensores (Figura 8), ao analisar o gráfico de dados de vibrações identificado duas condições;

1. Foi possível diminuir as vibrações externas das outras vias;
2. Sem captações claras de vibrações para interpretação dos dados, devido a passagem de uma composição em operação na via ao lado. Vibração que pode ser identificada no final da figura 13.

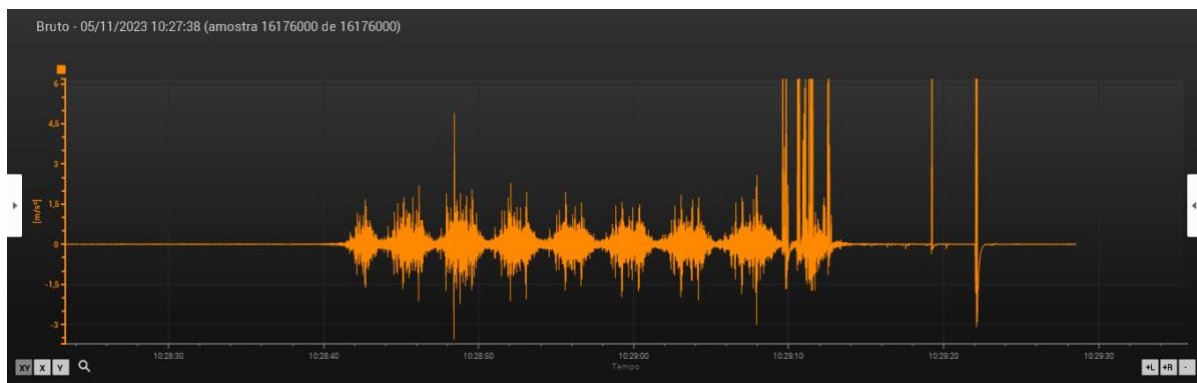


Figura 13 – Análise global da segunda posição dos sensores. Fonte: Autores, 2023.

Após analisado os dados da segunda posição, foi decidido mudar o posicionamento dos sensores. Colocando-os ao lado da fixação das vias (figura 9).

No último posicionamento dos sensores ao analisar os dados adquiridos, foram identificadas três condições;

1. Eliminação das vibrações das outras vias em operação;

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2. Identificação dos 16 truques da composição;
3. Melhor posição para realizar as análises.

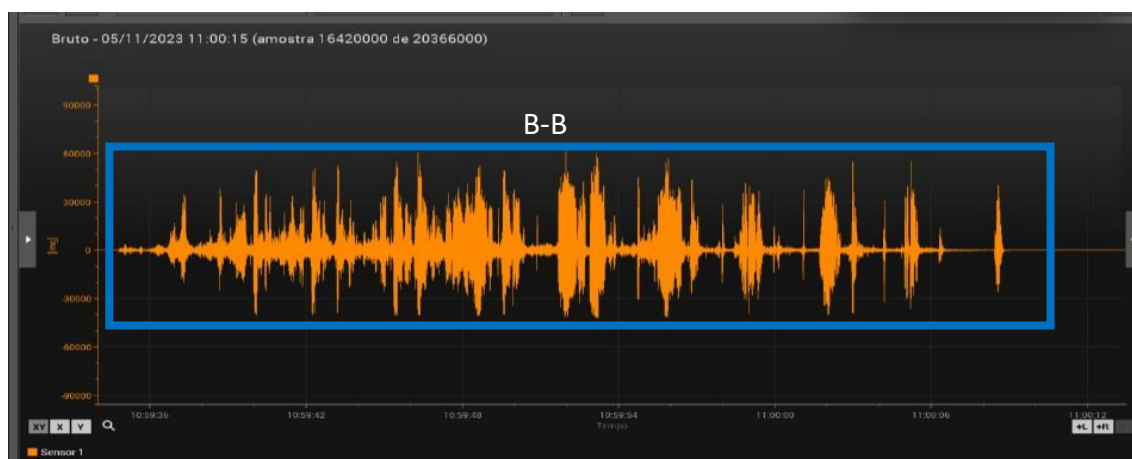


Figura 14 – Análise global da terceira posição dos sensores. Fonte: Autores, 2023.



Figura 15 – DETALHE B-B Fonte: Autores, 2023.

A partir dos dados aquisitados pelo software na terceira posição, foi tabelado e realizado o cálculo de desvio padrão analisando os picos de acelerações de cada truque da composição.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 2 – Valores aproximados de pico de aceleração terceira posição. Fonte: Autores, 2023.

Valores Aproximados Picos de Vibração de Cada Truque	
Truque	Valor de Pico (m/s²)
1	19,9917
2	19,9496
3	37,5233
4	31,8864
5	31,5759
6	35,1109
7	33,845
8	40,7
9	35,8991
10	29,8084
11	32,2208
12	29,5696
13	29,8562
14	33,8689
15	39,7684
16	33,7017
Desvio Padrão:	5,62

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

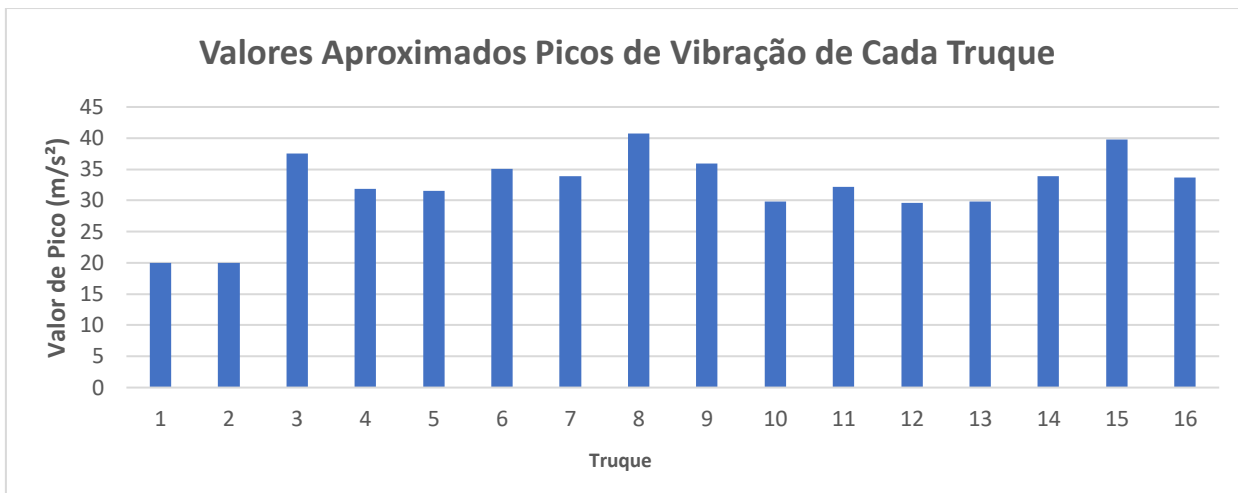


Figura 16 – Gráfico aproximados de pico de aceleração terceira posição. Fonte: Autores, 2023.

No início das pesquisas não houve preocupação quanto a qual velocidade seria necessária para uma melhor captação de vibrações, porém após os testes foi percebido que as velocidades acima de 40 km/h eram as mais adequadas para os ensaios.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

Com os testes realizados, primeiramente, foram identificados os carros e posteriormente, com a melhora na metodologia e análise crítica da situação, foram reconhecidos os truques da composição.

A mudança no posicionamento dos sensores assim também como a mudança da velocidade da composição foi determinante para a melhora na coleta e análise dos dados, pois com a posição adequada foi possível eliminar a captação de vibrações de outras vias pelos sensores e com a velocidade apropriada a aquisição dos dados proporcionou uma melhora significativa nos gráficos para realizar uma análise mais assertiva.

Pelo fato de utilizar uma composição recém-fabricada durante os ensaios, foram identificadas vibrações padrões de rodas novas, sendo assim qualquer vibração variante a essas, seria um possível defeito. Onde seriam coletadas as vibrações de rodas novas e rodas com defeito, podendo ser possível a caracterização de vibrações de defeitos, tornando o método de inspeção mais assertivo e automatizado.

Portando, para que seja possível chegar ao objetivo final da pesquisa é necessário um período mais extenso de testes para a criação de um banco de dados e análise constantes das variações de vibrações aquisitadas pelo dispositivo. Pois, a próxima etapa da pesquisa é a identificação dos rodeiros e conseqüentemente uma melhora nos filtros de informações e análise de vibrações das rodas novas. Além do desenvolvimento do banco de dados a longo prazo para



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ser possível a identificação dos defeitos das rodas e poder classificá-los com uma precisão maior devido as análises.

Este dispositivo pode ser instalado nos pátios de manutenção das companhias ferroviárias e a equipe de manutenção preditiva com os devidos treinamento pode operar o equipamento remotamente via lot (Internet das coisas) e realizar o monitoramento das variações de vibrações. Em médio e longo prazo, a aplicação dessa tecnologia na manutenção pode resultar em diversos benefícios para as companhias, como diminuição no tempo de manutenção, assertividade nas manutenções corretivas e preventivas dos rodeiros, identificação precisa dos tipos de defeitos nas rodas, podendo evidenciar possíveis problemas nos trilhos ferroviários e conseqüentemente um aumento na vida útil dos rodeiros e gerando uma economia nos custos de manutenções das rodas.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

24ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA. **APLICAÇÃO DE SENSORES DE VIBRAÇÃO E RUÍDO NOS TRILHOS PARA DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS FERROVIÁRIAS**. 5º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS. 24 ago. 2018

ALVES, Luiz Henrique. **Mecanismos de Desgastes de Rodas Ferroviárias**. Universidade de São Paulo, 2000.

ANDERSON, Ted L. **Fracture mechanics: fundamentals and applications**. CRC press, 2017.

CHANDRA, SATISH; AGARWAL, M.M. **RAILWAY ENGINEERING**. OXFORD University, [S. l.]. 2007. E-book (620 p.).

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia dos Materiais**, Volume I. 2ed. MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 1986.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia dos Materiais**, Volume II. 2ed. MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 1986.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia dos Materiais**, Volume III. 2ed. MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 1986.

ELETRÔNICA de diagnóstico para sensores de vibração: VSE002 DIAGNOSTIC ELECTRONICS. [S. l.]. Disponível em: <https://www.ifm.com/br/pt/product/VSE002>. Acesso em: 24 ago. 2023.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

FERRER, Bruno. **AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO EFEITO DA FORMULAÇÃO E DAS PROPRIEDADES DE GRAXAS LUBRIFICANTES NO DESEMPENHO TRIBOLÓGICO DO CONTATO RODA-TRILHO.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

FRACALLOSSI, João Paulo Carlos, **ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE RODAS FERROVIÁRIAS DO FABRICANTE A E DO FABRICANTE B VAGÕES DE MINÉRIO.** 2017. 60pg. Monografia da Especialização em Engenharia de Confiabilidade - Diretoria de Pesquisa e Pós graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2017.

GONZALEZ-VELAZQUEZ, J. L. **Mechanical Behavior and Fracture of Engineering Materials.** Structural Integrity: Volume 12. Switzerland: Springer, 2020. 244 p.

HENRIQUES, Izadora. **CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO EVIDENCIADOS EM RODAS FERROVIÁRIAS.** Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2017.

HIBBELER, R. **Resistência dos Materiais.** 7ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LEWIS, Roger; OLOFSSON, Ulf (Ed.). **Wheel-rail interface handbook.** Elsevier, 2009.

LIMA NETO, Agenor. **O DESGASTE DE RODAS E O PROCESSO DE REPERFILAMENTO.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia, 2006.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

LOPES, Francisco José. **APLICAÇÃO DE SENSORES DE VIBRAÇÃO E RUÍDO INSTALADOS NOS TRILHOS DA VIA PARA DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS FERROVIÁRIAS.** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2017.

MINICUCCI, Domingos José. **Avaliação de tensões por ultrassom no aro de rodas ferroviárias forjadas novas–classe C.** Universidade Estadual de Campinas, 2003.

RAO, Singiresu'. **Vibrações Mecânicas.** [S. l.: s. n.], 2008.

SENSOR de aceleração: VSA001 VIBRATION SENSOR. [S. l.]. Disponível em: <https://www.ifm.com/br/pt/product/VSA001>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SURESH, Subra. **Fatigue of materials.** Cambridge University Press, 1998. DA SILVA NABAIS, Rui José. **Manual básico de engenharia ferroviária.** Oficina de Textos, 2014.