

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PREDITIVOS PARA DETECÇÃO DE FALHAS NOS SISTEMAS DE FRENAGEM DE VAGÕES ATRAVÉS DOS DADOS DE TEMPERATURA DE RODAS

Marcos De Sousa Silva, Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, Vale, Brasil

Leandro Rocha Lopes, Mestre em Engenharia Elétrica, Vale, Brasil

Lucas Fabrício Neves de Sousa, Bacharel Engenharia Mecânica, Vale, Brasil

Rafael Castro Gonçalves, Técnico em Eletromecânica, Vale, Brasil

Edilson Alves Pinheiro, Bacharel em Sistemas de Informação, Vale, Brasil

RESUMO

Grandes ferrovias buscam a maior eficiência dos seus ativos no transporte de cargas para elevar sua competitividade no mercado. A frota da Estrada de Ferro Carajás (EFC) consiste em cerca de 20 mil vagões. Diariamente, uma média de 20 trens de minério de ferro, cada um composto por 330 vagões, percorrem a linha, resultando em um total de 52.800 rodas em operação, e em busca de um acompanhamento dinâmico de condição destes componentes críticos em circulação, o monitoramento é realizado através dos equipamentos *waysides*, instalados ao longo da via, como o *Hot Wheel Detector* (HWD), responsável pela aferição de temperatura de rodas, composto por sensores e circuito de detecção de aproximação de trem. A dinâmica ferroviária e as condições de operação podem levar os rodízios a atingirem elevadas temperaturas, aumentando os processos de desgaste e fadiga das rodas decorrentes de problemas associados ao sistema de frenagem, culminando em paradas onerosas de trens e até descarrilamentos. Por esta razão, os detectores monitorizam tais componentes, e em caso de sobreaquecimento detectado, emitem um aviso para alertar sobre a possível falha iminente. Visando a antecipação de vagões com indicações de defeitos no sistema de freio, que representaram 43,8% dos eventos registrados em 2022 na EFC, o estudo realizado propôs-se a estabelecer intervalos preditivos para a elaboração da melhor estratégia de manutenção a partir de amostras coletadas do *OSCAR*, supervisor de visualização e armazenamento do HWD. Cerca de 1 milhão de temperaturas foram analisadas para a determinação do modelo estatístico que melhor descreve o comportamento dos dados. Obteve-se a função de confiabilidade, estipulou-se o intervalo de predição de monitoramento, e com o auxílio de um *dashboard* no *Power BI*, viabilizou-se a priorização de vagões de minério com tendência de alarmes. Após as melhorias e ações de confiabilidade implantadas, os defeitos reduziram 39,71% e os eventos de *Hot Wheel* diminuíram em 54,29%.

Palavras-chaves: Confiabilidade; Preditiva; Rodas; Detector de roda quente.

1. INTRODUÇÃO

A maior capacidade e maior fluxo de transporte nas ferrovias são necessários para o aumento da capacidade logística das grandes empresas que operam neste ramo. Portanto, de semelhante modo, faz-se necessário o aumento da confiabilidade do sistema

e, em conjunto, a diminuição com os custos associados à manutenção (ASPLUND et al., 2016). No setor de transporte ferroviário de carga (EFC), a segurança operacional é primordial, principalmente no transporte de minério, onde a carga por eixo é significativa. Danos às rodas indicam que durante a aplicação do freio, o atrito entre a roda e a sapata de freio gera energia térmica proporcional à força de frenagem, que é transferida para a roda resultando em um aumento de temperatura e redução do limite de escoamento (dureza). Essa energia térmica crescente pode atingir níveis elevados e pode causar a inversão da tensão de compressão residual em tensão de tração. Nas rodas com tensão de tração, podem ocorrer rachaduras e, se as rachaduras se espalharem, podem causar uma fratura completa da roda (BRAGA et al., 2021).

A norma NBR 5462 (1994) define a falha como o momento em que um item não é mais capaz de desempenhar sua função requerida. No entanto, é importante ressaltar que um item pode estar degradado ou até mesmo danificado sem que, necessariamente, tenha ocorrido uma falha funcional. Conforme estabelecido pela norma, a esse fenômeno é dado o nome de defeito, que se refere a qualquer desvio de uma característica do item em relação aos seus requisitos naturais (RODRIGUES, 2019). Neste contexto, o monitoramento da temperatura das rodas desempenha um papel crucial na prevenção de falhas catastróficas e na garantia da eficiência e confiabilidade operacional dos vagões. A justificativa deste trabalho dá-se pela necessidade de realizar uma avaliação de critérios preditivos para auxiliar na detecção de falhas em sistemas de frenagem utilizando dados de temperatura do detector de roda quente (HWD) e sua relevância para a segurança ferroviária. O sistema Hot-Wheel Detector (HWD) registra dados analógicos de temperatura quando os vagões passam nos sensores e analisa os dados em busca de variações térmicas anormais. Os alertas são registrados e enviados ao centro de controle por meio de uma rede de comunicação. Com o aumento da demanda de transporte de carga na EFC a identificação de problemas nos freios dos vagões torna-se crucial para a empresa.

Na seção 2 é apresentado o sistema Hot Wheel Detector (HWD) e seu princípio de funcionamento, bem como a importância do monitoramento da temperatura das rodas no contexto da confiabilidade, objetivando mitigar ocorrências de nucleação e propagação de trincas por fadiga. Já na seção 3 é realizada uma análise dos dados para definição do critério preditivo. E, por sua vez, na seção 4 tem-se a análise de confiabilidade considerando as repetições de temperaturas acima do critério preditivo encontrado na análise estatística. Por fim, na seção 5 apresenta-se a conclusão e as observações sobre os resultados obtidos.

2. DESENVOLVIMENTO

Uma das estratégias preditivas utilizadas na Estrada de Ferro Carajás (EFC) para monitorar as rodas que circulam diariamente são os equipamentos *waysides*. Trata-se de equipamentos instalados ao lado da via, montados nos trilhos ou entre dormentes, cuja função principal é o monitoramento da condição de saúde de todo material rodante (SOUSA et al., 2023). Através da monitorização do desempenho dos componentes críticos de cada vagão que percorre a ferrovia, é possível gerenciar os desvios causados por mau funcionamento e desgaste excessivo do sistema de frenagem de cada composição (FRANCO et al., 2018). Um destes equipamentos é o *Hot-Wheel Detector* (HWD), responsável por determinar através de sensores infravermelhos, a temperatura das rodas em ambos os lados do trem, gerando dados que são lidos e armazenados por uma central.

Os parâmetros de leitura de temperatura das rodas determinam a parada do trem durante a sua circulação, sendo o a indicação de alarme absoluto, quando a temperatura $T \geq 300^{\circ}\text{C}$, fundamental na tomada de decisão. Desta maneira, para estabelecer uma estratégia associada à manutenção preditiva visando auxiliar na detecção de falhas no sistema de frenagem, e com base na análise de confiabilidade de dados de temperatura, foram coletados os registros das rodas de vagões alarmados e não alarmados através do *Hot-Wheel Detector* (HWD). Os dados avaliados representaram as temperaturas lidas no intervalo dia 23/01 a 24/01 de 2023. Através do gráfico *boxplot*, a partir do 3º quartil, determinou-se a proposta de modelo de limite preditivo para manutenção dos vagões em oficina. Com intuito de entendimento da função sobrevivência baseada nas repetições de atingimento do limite preditivo realizou-se uma análise de *Life Data Analysis* (LDA). Percebeu-se que, na análise, a função *Weibull 2P* foi eficiente para descrever a melhor distribuição para o conjunto de dados. Calculou-se o equivalente ao *Time To Fail* (TTF) para os vagões alarmados, em sequência, realizou-se o cálculo de confiabilidade, $R(t)$, a partir da curva de sobrevivência para traçar a criticidade da manutenção dos vagões.

2.1. A Influência da Temperatura na Nucleação e Propagação de Trincas por fadiga de contato do rolamento (RCF)

O aumento da temperatura nas superfícies de rodas e trilhos pode ocorrer devido ao calor gerado pelo atrito durante o movimento e, especialmente, causada pela atuação das sapatas de freio diretamente sobre as rodas. Esse problema pode ser exacerbado por sistemas de freio com mau funcionamento, que são aplicados por longos períodos sem interrupção sobre a superfície de rolamento. Além de potencialmente diminuir a resistência do material ao cisalhamento, as altas temperaturas também podem aliviar as tensões compressivas residuais, introduzidas tanto pelo encruamento superficial no contato quanto pelo tratamento térmico de têmpera nas rodas. Essas tensões residuais são benéficas para conter a propagação de trincas por fadiga, aumentando a severidade do dano por fadiga de contato cíclico, tanto na sua nucleação quanto na propagação das trincas (STONE; CUMMINGS, 2008). No entanto, um possível efeito positivo das altas temperaturas é a redução do módulo de elasticidade do aço, o que aumenta a área de contato e diminui a pressão máxima de contato. O dano por fadiga de contato cíclico na presença de altas temperaturas, especialmente para aços AAR Classe C acima de 300°C , é especificamente denominado *shelling* termomecânico (STONE; CUMMINGS, 2008).

Tensões térmicas surgem na superfície de rolamento da roda devido à diferença de temperatura entre diferentes partes. O aro, o disco e o cubo da roda, mais frios em ordem progressiva, restringem a expansão térmica da superfície de rolamento, resultando em tensões de tração nessa região. No entanto, ao longo de um ciclo de rolamento, cada ponto da superfície passa por variações de aquecimento e resfriamento. Durante as frenagens, um ponto específico da superfície da roda é aquecido pelo contato com a sapata de freio e, em seguida, resfriado por condução através do trilho, que é relativamente mais frio, e por convecção com o ambiente. Isso demonstra que as tensões térmicas também têm natureza cíclica (SRIVASTAVA; SARKAR; RANJAN, 2016).

Além disso, períodos prolongados de frenagens, nos quais a alta temperatura pode reduzir as tensões compressivas residuais originais, seguidos pelo resfriamento completo da roda até a temperatura ambiente, podem resultar na completa inversão das tensões, gerando tensões trativas residuais na superfície. Essas tensões podem, por sua vez, contribuir para a propagação de trincas por fadiga de contato cíclico (SRIVASTAVA; SARKAR; RANJAN, 2016).

2.2. Hot Wheel Detector (HWD)

Para o levantamento de dados de temperatura das rodas de vagões, utilizou-se o equipamento *Hot-Wheel Detector* (HWD) que estão distribuídos em 15 pontos ao longo da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Este sistema de monitoramento de temperatura de rodas é composto por sensores, circuito de detecção de aproximação de trem e *scanners* com sensores de temperatura por radiação infravermelha. Atualmente está configurado com o método de medição *peakfilter* que considera como referência o valor máximo de temperatura medido ao longo dos 36 pontos do perfil, independente da sua posição. A temperatura apresentada pelo HWD excluiu o valor da temperatura ambiente previamente utilizada no momento da calibração do equipamento, ou seja, caso a roda apresente pelo HWD temperatura de 70°C, na verdade ela está com 100°C, caso utilizássemos um termômetro externo por radiação infravermelha para medição e considerando uma temperatura ambiente de 30°C.

Até então na EFC utilizava-se da seguinte estratégia baseada nas temperaturas medidas pelo equipamento:

- Pré-Absoluto, $T \geq 180^\circ\text{C}$:
Ação primária: Inspeccionar vagão na sua próxima passagem do terminal de descarregamento de minério.
- Absoluto, $T \geq 300^\circ\text{C}$:
Ação primária: Realizar parada da composição para inspeção e correção do vagão.

A Figura 1 demonstra o princípio de funcionamento e detecção de temperaturas das rodas. Como pode ser visto, o scanner deve estar alinhado a 2,5" acima do boleto do trilho. Um mau alinhamento de um dos scanners, associado a rodas de diferentes dimensões de bandagem, podem levar a temperaturas detectadas fora das expectativas.

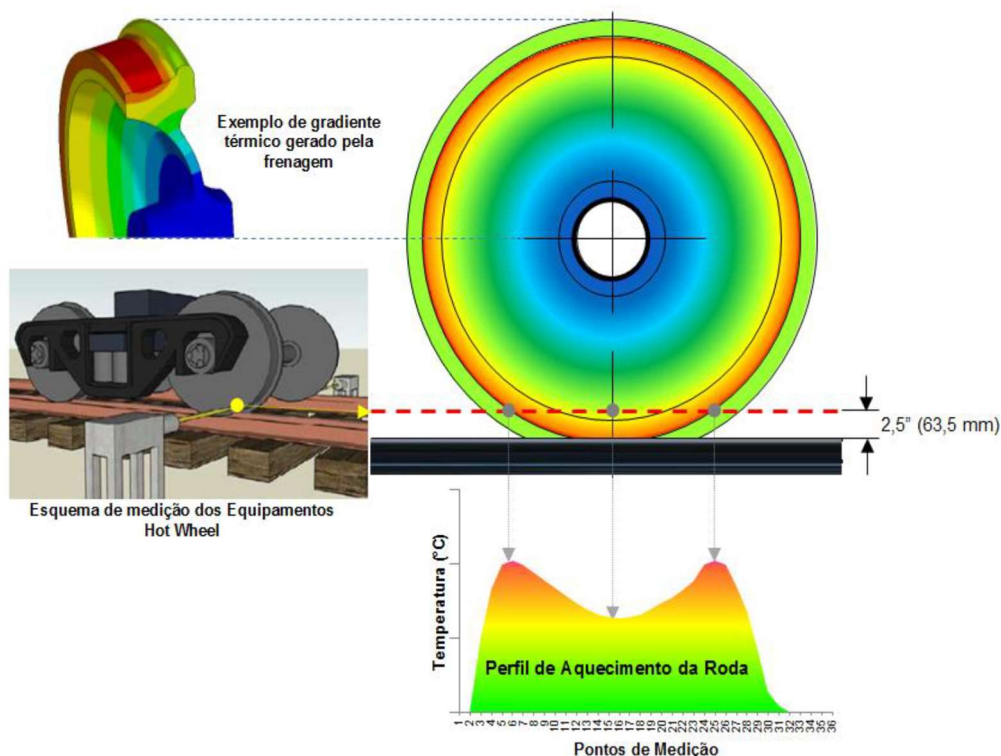


Figura 1. Esquema de medição do *Hot Wheel Detector* (HWD).

Os dados de temperaturas são armazenados e reportados pelo HWD e usadas para diagnosticar uma variedade de problemas de freio dos vagões. Uma indicação de roda quente por meio dos parâmetros configurados é suficiente para indicar a existência de anormalidade, e partindo desta informação toma-se a ação necessária para correção do vagão.

2.3. Análise Exploratória dos Dados

Através do *Hot-Wheel Detector* (HWD) foram coletados os dados de temperatura de vagões de minério de ferro de 23/01 a 24/01 de 2023. Neste intervalo avaliado não houve incidências de vagões que alertaram alarmes pré-absolutos. Buscou-se, inicialmente, partindo-se das premissas de alinhamento dos scanners e dimensões de bandagens atuais, a identificação da faixa de temperatura que possa ser considerada “normal” dos vagões em detrimento a quantidade de vezes que ela ocorre. Após, realizou-se uma avaliação usando análise descritiva com o histograma, presente na Figura 2, e o *boxplot*, apresentado na Figura 3.

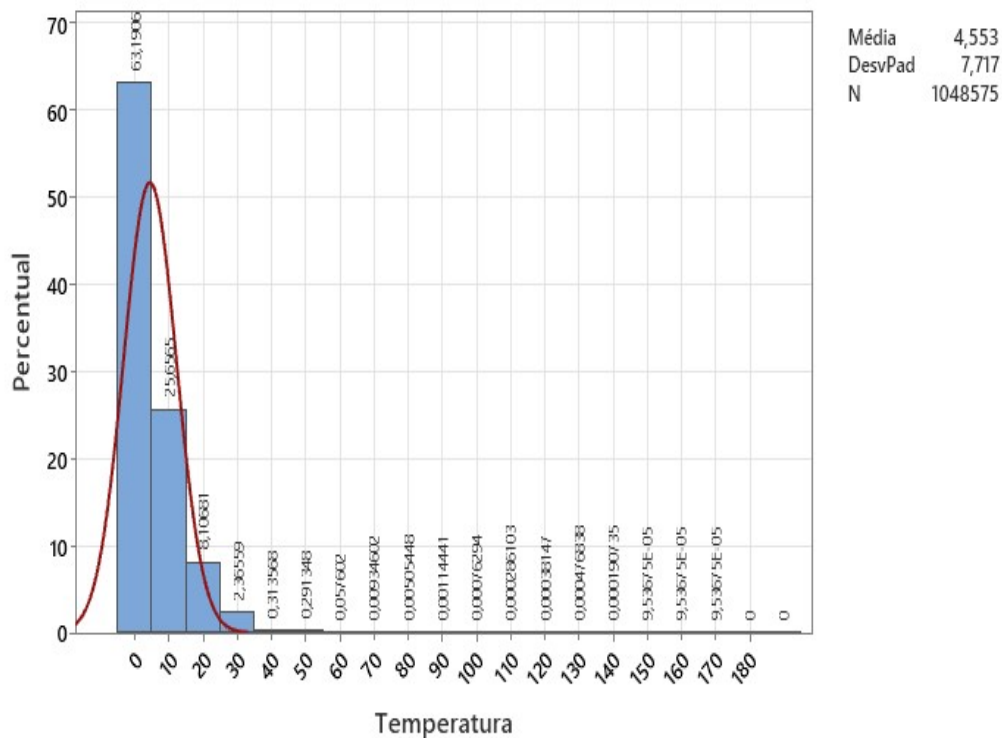


Figura 2. Distribuição de dados de temperatura entre os dias 23/01 a 24/01 de 2023.

Encontrou-se um intervalo interquartil que varia de 0°C a 8°C. Para o banco de dados utilizado, considerando esse intervalo, tem-se 931629 temperaturas nessa faixa. Entende-se que essa faixa representa temperaturas “normais”.

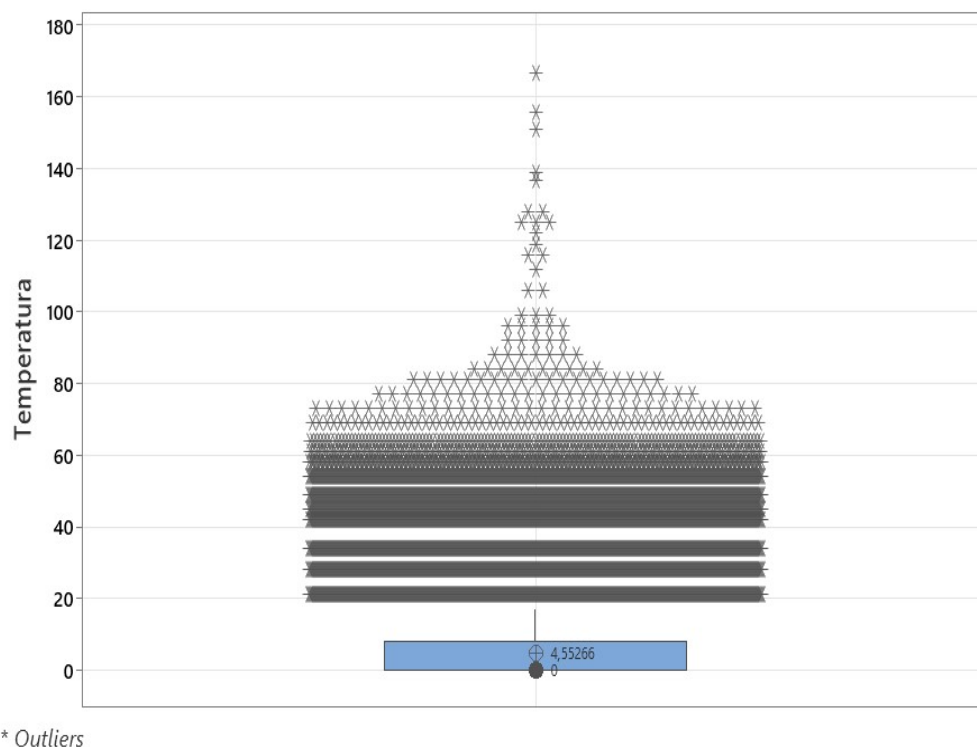


Figura 3. Boxplot dos dados de temperatura dos vagões no intervalo de 23/01 a 24/01.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a descrição detalhada para maior entendimento do histograma apresentado na Figura 2 e 3.

Tabela 1. Estatística descritiva para o número de amostras, desvio padrão e o valor mínimo.

	Variável	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo
A	Temperatura	1048575	4.553	7.717	0.00000

Tabela 2. Estatística descritiva para o primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo valor.

	Variável	Q1	Mediana	Q3	Máximo
A	Temperatura	0.00000	0.00000	8.000	167.000

Na sequência, Figura 4, realizou-se uma análise comparativa de temperaturas dos vagões alarmados e não alarmados. Considerou-se as informações processadas das rodas não alarmadas e as processadas pelos 10 vagões alarmados, no ano de 2022, anteriores ao evento de *Hot-Wheel*. Considerando o histórico de todas as temperaturas lidas anteriores ao evento para esses 10 vagões, o intervalo interquartil ficou entre 0°C e 17°C, sendo o máximo de 284°C.

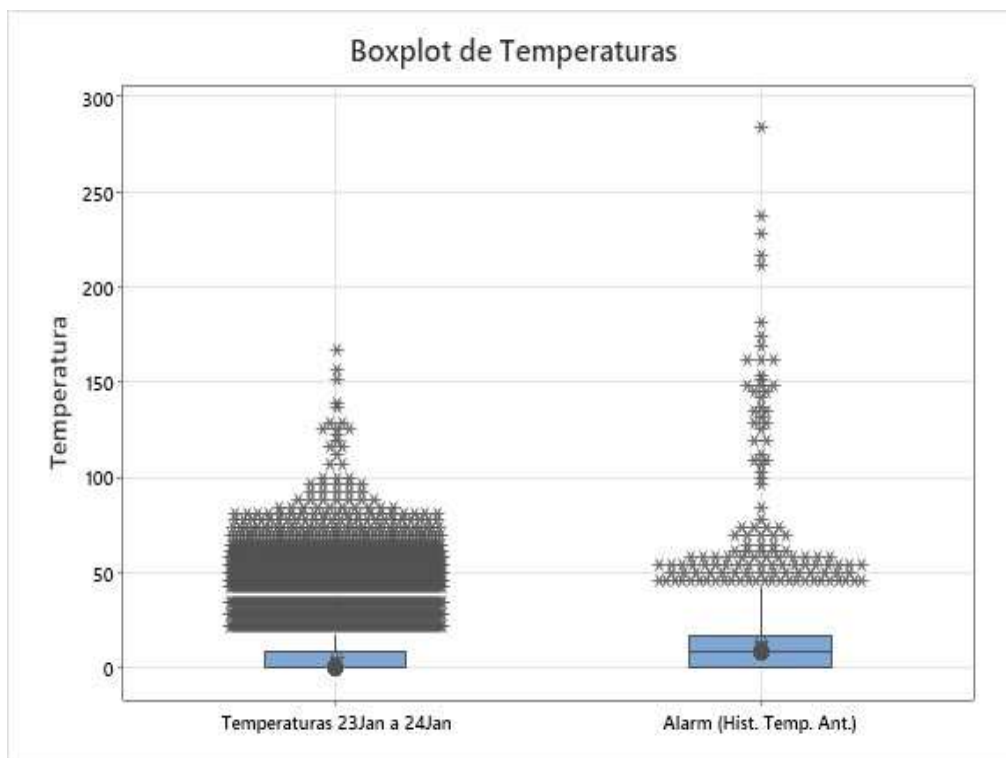


Figura 4. Boxplot dos dados de temperatura dos vagões não alarmados e dos alarmados.

As Tabelas 3 e 4 apresentam a descrição detalhada para maior entendimento do boxplot apresentado na Figura 4.

Tabela 3. Estatística descritiva para o número de amostras, desvio padrão e o valor mínimo.

	Variável	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo
A	Temperatura 23/01 a 24/01	1048575	4.553	7.717	0.00000
B	Alarmes (Histórico-temperatura anterior)	2358	13.355	21.412	0.000

Tabela 4. Estatística descritiva para o primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo valor.

	Variável	Q1	Mediana	Q3	Máximo
A	Temperatura 23/01/23 a 24/01/23	0.00000	0.00000	8.000	167.000
B	Alarmes (Histórico-temperatura anterior)	0.000	8.000	17.000	284.000

Para a determinação do critério preditivo, filtrou-se as 20 maiores temperaturas lidas de cada um dos 10 vagões alarmados em 2022, independente do rodeiro, com dados de temperatura anteriores ao evento de *Hot-Wheel*. Realizou-se a análise com estatística descritiva.

Na Figura 5 pode-se visualizar através de boxplot a representação dessas 20 maiores temperaturas e na Figura 6 tem-se a unificação dessas informações para um mesmo boxplot.

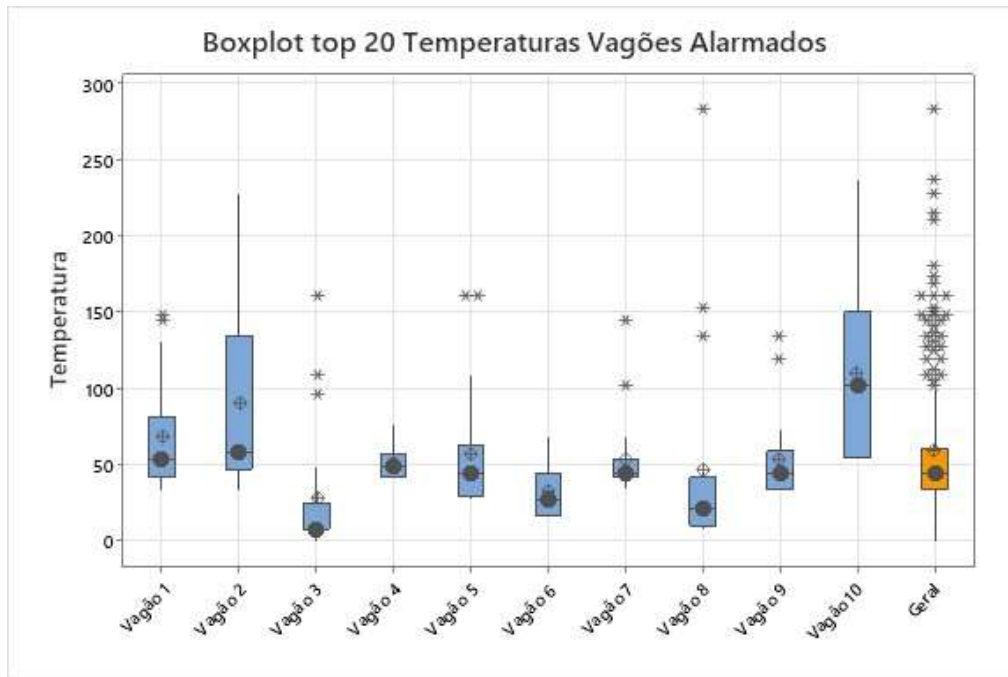


Figura 5. Boxplot - 20 maiores temperaturas lidas de cada vagão alarmado

Por estatística descritiva, conforme Tabelas 5 e 6, tem-se o intervalo interquartil variando de 34°C a 61°C. A partir da avaliação dos dados, adotou-se como limite o 3º quartil, ou seja, valores acima de 61°C. O objetivo inicial é de se evitar os *outliers*.

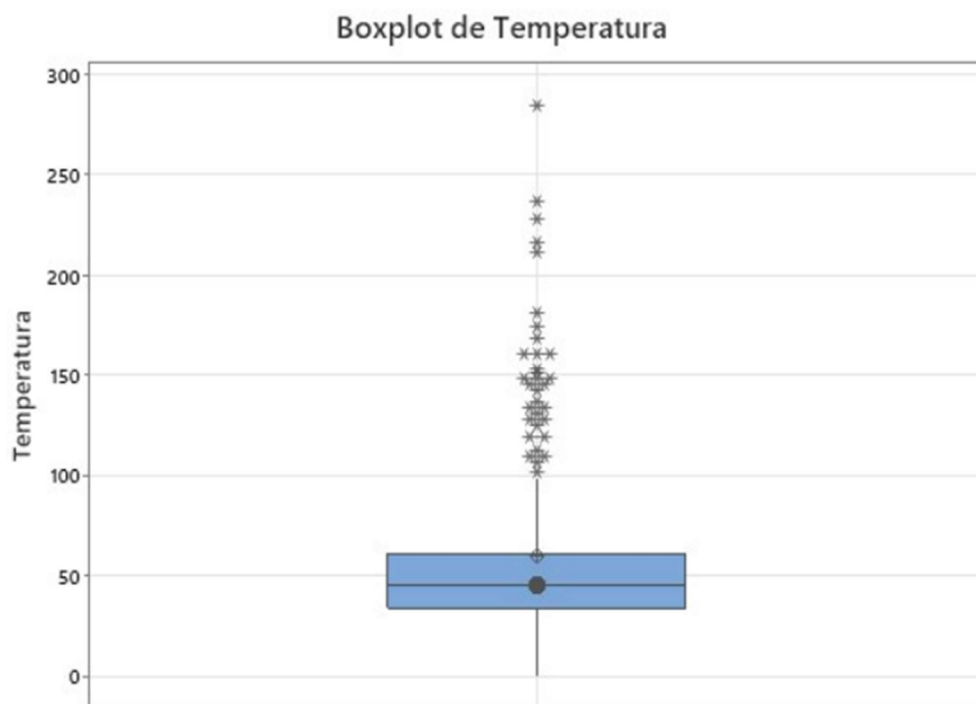


Figura 6. Boxplot unificado - 20 maiores temperaturas lidas de cada vagão alarmado.

As Tabelas 5 e 6 apresentam a descrição detalhada para maior entendimento do boxplot e histograma apresentado na Figura 10 e 11.

Tabela 5. Estatística descritiva para o número de amostras, desvio padrão e o valor mínimo.

	Variável	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo
A	Temperatura geral 20 +	200	59,31	48,35	0.00000

Tabela 6. Estatística descritiva para o primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo valor.

	Variável	Q1	Mediana	Q3	Máximo
A	Temperatura geral 20 +	34.00	45.00	61.00	284.00

3. CONFIABILIDADE

A análise de confiabilidade foi realizada para determinação da probabilidade de ocorrência de alarme absoluto HW dada as repetições de temperaturas acima de 61°C *wheel* em uma janela de 30 dias de consulta. Conforme pode ser visto na Figura 7, diferentes repetições ocorreram para os 10 vagões alarmados utilizados como objeto de estudo.

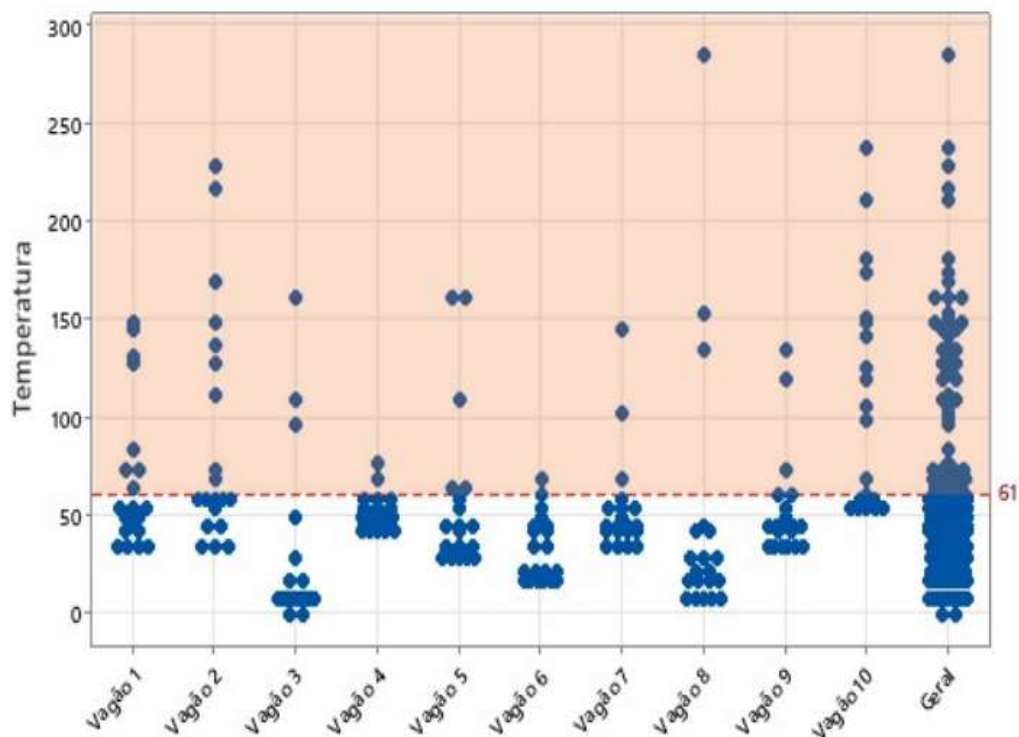


Figura 7. Gráfico de pontos demonstrando as repetições de atingimento de 61°C para os 10 vagões alarmados.

Utilizou-se como modelo paramétrico o *Weibull*. Para a avaliação do modelo, utilizou-se da função de verossimilhança como estimação paramétrica dos valores e adotou-se o intervalo de confiança bilateral de 95%. Os valores dos parâmetros foram $\beta = 0,852644$, $\eta = 65,9108$

A Função Densidade Probabilidade (FDP) é dada pela Equação 1 (SOUSA et al., 2023):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (1)$$

Em que,

$$f(t) \geq 0, t \geq 0 \text{ ou } \gamma, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < +\infty$$

Sendo:

- β : o parâmetro de forma conhecido também como inclinação da distribuição *Weibull*. Determina a forma da curva e as características das falhas do sistema (LOPES; ARRUDA, 2021).

- η : o parâmetro de escala. É o valor no tempo pelo qual 63,2% de todas as falhas terão ocorrido. Nesse sentido, η é apenas um ponto na escala de tempo, proporcionando alguma medida padrão da distribuição dos tempos ao fracasso (LOPES; ARRUDA, 2021).

- γ : o parâmetro de posição. É algum valor do tempo pelo qual na distribuição completa de tempos a falha é deslocada, ou seja, intervalo de tempo em que o equipamento não apresenta falhas (LOPES; ARRUDA, 2021).

O objetivo da análise de confiabilidade pela função *Weibull*, Figura 8, é determinar a probabilidade de uma falha funcional dada as repetições de temperaturas acima do limite pré-estipulado.

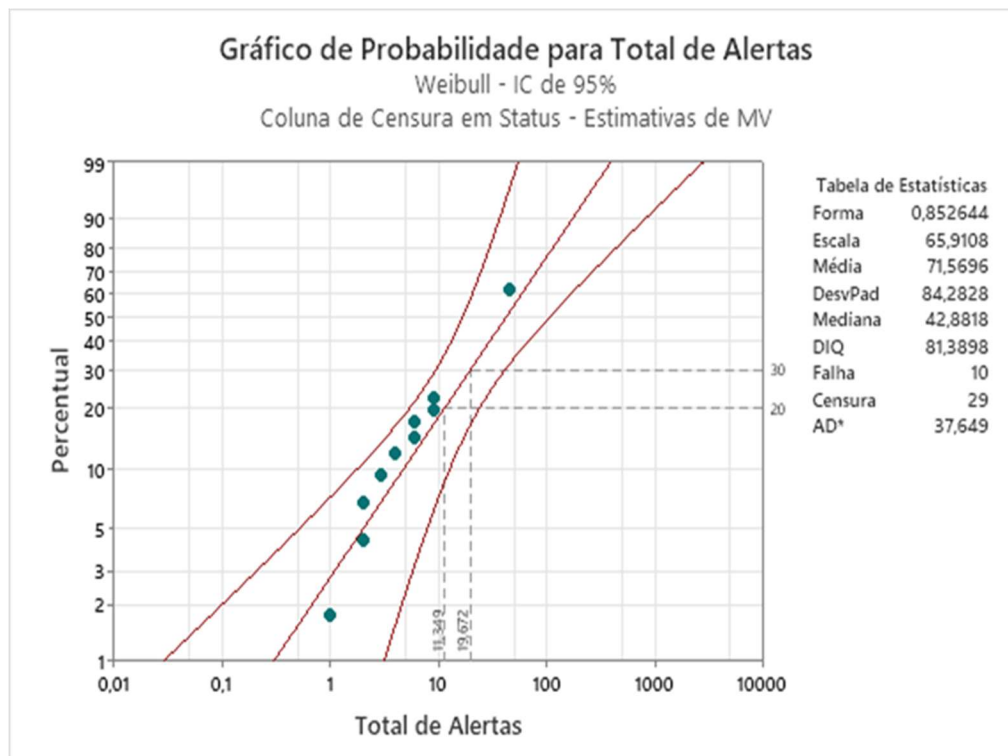


Figura 8. Gráfico de probabilidade - IC de 95%

À medida que a quantidade de repetições de temperaturas acima de 61°C ocorre em uma janela de 30 dias, maior a probabilidade de uma falha funcional, ou seja, maior as chances que ocorra um alarme absoluto *Hot-Wheel* ($T \geq 300^\circ\text{C}$), acarretando perdas

operacionais. Através da Figura 8 é possível verificar que com um $R(t)=70\%$ tem-se um número de 19,672 repetições de indicações acima de 61°C , ou seja, para esse número de repetições, há 30% de probabilidade de ocorrência de um evento de HW absoluto.

4. RESULTADOS E DISCUSÕES

Após estudos estatísticos prévios, a regra inicial foi pré-estabelecida. vagões em que, considerando-se uma janela móvel de 30 dias de dados, apresentarem mais de 19 repetições de detecções acima de 61°C , são considerados de maior potencial para problemas de frenagem e direcionados para manutenção.

Com o critério já definido, foram retidos para fins de validação 24 vagões para teste de freio e inspeção em oficina. Destes vagões, após os testes realizados, foram identificados 22 vagões (91,6 %) com problemas no sistema de frenagem.

Dados os resultados, entende-se que o limite preditivo de manutenção proposto é eficaz para a identificação do início da falha funcional de alarme absoluto ($T \geq 300^{\circ}\text{C}$).

A partir dos dados observados, foi possível traçar outros limites de criticidade para o monitoramento preditivo levando-se em consideração, a confiabilidade. A partir da função determinou-se dois outros limites. Para $R(t) = 80\%$, considera-se como criticidade 2 (menos crítico) e corresponde a 11,34 repetições de temperatura acima de 61°C . A criticidade 1, a que antecede a maior criticidade, representa um $R(t)=75\%$, o que correspondendo 15,28 repetições.

Após melhoria implantada e ações de confiabilidade, houve redução nas indicações de eventos de frenagem em 39,71% bem como os eventos de *Hot Wheel* que diminuíram significativamente em 54,29%, mesmo com a estratégia sendo adotada de maneira mais minuciosa a partir do segundo semestre de 2023.

Com as regras definidas, foi possível elaborar um painel que possibilita realizar o monitoramento da frota de vagões conforme pode ser visto na Figura 9.

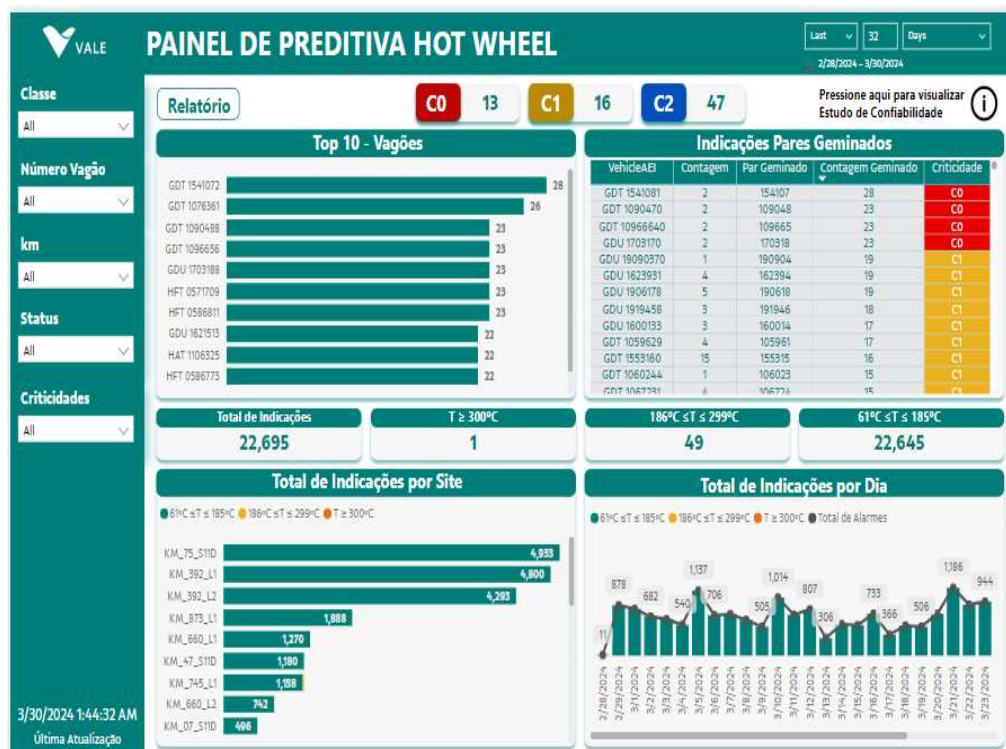


Figura 9. Painel de Preditiva Hot Wheel.

5. CONCLUSÃO

Na EFC tem-se localizações em que o espaçamento entre sites de HWD chegam na casa dos 146km. Segundo as diretrizes impostas nos EUA após o acidente em Ohio em fevereiro de 2023, a distância média entre sistemas de monitoramento deve ser de até ± 24 km. Para melhor acompanhamento de performance e determinação de regras preditivas, quanto menor o espaçamento melhor. Isso implica uma quantidade maior de informações e precisão nas predições.

Dentro do cenário da indústria 4.0, em que já se começa a falar até me 5.0, avanços em direção a critérios mais “inteligentes”, que se utilizam de dados de instrumentação (sensores) para geração de valor, têm sido amplamente praticados nas grandes corporações. EM ferrovias *Heavy Haul*, estratégias que se utilizam somente de critérios de parada (alarmes absolutos) ajudam na mitigação de riscos, porém geram perdas operacionais. Estratégias preditivas proporcional previsão de falhas e planejamento das manutenções.

Crítérios preditivos direcionados para detecção de defeitos no sistema de frenagem de vagões não são amplamente difundidos ou encontrados na literatura atual. A relevância do estudo proposto está na formulação metodológica e não no limite estipulado. Em outras operações em que há mudança de cenário a nível de critério dinâmico ferroviário e sensoriamento, provavelmente os limites serão diferentes e abrem espaço para utilização de metodologias mais sofisticadas, a exemplo de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*).

Apesar das dificuldades encontradas, principalmente qualidade e quantidade de dados, a regra proposta tem se mostrado eficaz. A precisão acima dos 90% têm proporcionado uma melhor qualidade operacional e confiabilidade dos ativos.

Regras complementares de inspeções visuais (via sistema ou no físico) e por *sonaphone* estão em andamento. A expectativa é que venham a complementar o trabalho que já vem sendo realizado, contribuindo para o aumento da confiabilidade da frota de vagões.

Projeto de ampliação da quantidade de sites com sistemas HWD estão sendo avaliados. Isso permitirá melhor acompanhamento da evolução de uma possível falha e avanço metodológico preditivo.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa Vale S.A. por acreditar no trabalho e no desenvolvimento do estudo.

7. REFERÊNCIAS

ASPLUND, Matthias et al. A study of railway wheel profile parameters used as indicators of an increased risk of wheel defects. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, v. 230, n. 2, p. 323-334, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BRAGA, J.P. do Amaral. OLIVEIRA, N.C. MONTEIRO, O.P. REIS, F.J.D. dos. Railway wheel temperature measurement system. 2021.

FRANCO, Luciano José Vieira et al. Aparelhos waysides em ferrovias: um estudo de caso sobre os resultados das ocorrências ferroviárias. Congresso Internacional de Administração, 2018.

LOPES, Leandro Rocha; ARRUDA, Guilherme Bandeira de. Implantação de manutenção preditiva para aumento de confiabilidade de equipamentos hotbox/hotwheel. 2021. Congresso ABRISCO, 2021.

RODRIGUES, Maurício. Análise da Estratégia de Manutenção em um Sistema de Picagem de Madeiras Utilizando a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Produto & Produção, v. 20, n. 2, 2019.

SOUSA, Lucas Fabrício Neves de; LOPES, Leandro Rocha; SILVA, Francywaldo Marcos Vieira; REZENDE, Andrei Bavaresco. Determinação de limite preditivo para rodas de locomotivas GE Evolution com base na análise da curva de degradação de largura de friso. In: ANAIS DO VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA, 2023, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sef/sef-2023/trabalhos/determinacao-de-limite-preditivo-para-rodas-de-locomotivas-ge-evolution-com-base?lang=en> Acesso em: 16 mar. 2024.

SRIVASTAVA, Jay Prakash; SARKAR, Prabir Kumar; RANJAN, Vinayak. Effects of thermal load on wheel–rail contacts: A review. Journal of Thermal Stresses, v. 39, n. 11, p. 1389-1418, 2016.

STONE, Daniel H. CUMMINGS, Scott M. Effect of residual stress, temperature and adhesion on wheel surface fatigue cracking. In: ASME 2008 Rail Transportation Division Fall Technical Conference. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2008. p. 157-165.

DETERMINATION OF PREDICTIVE PARAMETERS FOR DETECTION OF FAULTS IN WAGON BRAKING SYSTEMS THROUGH WHEEL TEMPERATURE DATA

Abstract

Major railways seek to maximize the efficiency of their assets in cargo transportation to enhance their competitiveness in the market. The fleet of Estrada de Ferro Carajás (EFC) consists of approximately 20,000 wagons. Daily, an average of 20 iron ore trains, each composed of 330 wagons, traverse the line, resulting in a total of 52,800 wheels in operation. In pursuit of dynamic monitoring of these critical components in circulation, monitoring is carried out through Wayside equipment installed along the track, such as the Hot Wheel Detector (HWD), responsible for measuring wheel temperature, composed of sensors and a circuit for detecting train approach. Railway dynamics and operating conditions can lead wheelsets to reach high temperatures, increasing wear and fatigue processes resulting from problems associated with the braking system, culminating in costly train stops and even derailments. For this reason, detectors monitor such components, and in case of detected overheating, issue a warning to alert of possible imminent failure. Aimed at anticipating wagons with brake system defect indications,

which represented 43.8% of the events recorded in 2022 at EFC, the study proposed establishing predictive intervals for the development of the best maintenance strategy based on samples collected from OSCAR, the supervisory system for visualization and storage of HWD data. Approximately 1 million temperatures were analyzed to determine the statistical model that best describes the data behavior. The reliability function was obtained, the monitoring prediction interval was stipulated, and with the aid of a Power BI dashboard, prioritization of ore wagons with alarm tendencies was made possible. After the implemented reliability improvements and actions, defects reduced by 39.71%, and Hot Wheel events decreased by 54.29%..

Keywords: Reliability; Predictive; Wheels; Hot wheel detector.