

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE FALHAS EM ROLAMENTOS FERROVIÁRIOS*

Gustavo Barros Castro¹
Gleudson Costa Soares²
Jesus Jonatan Souza Santos³
Breno Delgado Silva⁴
Breno Carvalho de Oliveira⁵
Clayton Almeida Guimarães⁶
Thiago Nunes de Castro⁷

Resumo

Ao se realizar a manutenção de vagões em uma companhia com mais de 20.000 ativos é esperado que haja uma taxa de falha, relativa a problemas que ocorrem entre as manutenções preventivas da frota. Quando este problema causa a parada de trem considera-se que ocorreu uma falha. Através de uma metodologia bem definida de análise de eventos que causam falha devido a rolamentos, metodologia esta que utiliza sistemas de monitoramento Waysides e inspeções físicas do ativo, desenvolve-se planos de ação para eliminar as causas principais, aumentando a disponibilidade de ativos e previsibilidade dos horários de chegada de trem.

Palavras-chave: Análise de falha; Waysides; Vagões; Rolamentos.

METHODOLOGY OF FAILURE ANALYSIS IN RAILWAY ROLLER BEARINGS

Abstract

When maintaining wagons in a company with more than 20,000 assets is expected to have a failure rate, related to problems that occur between preventive maintenances of the fleet. When this problem causes a train stop it is considered that a fault has occurred. Through a well defined methodology of event analysis that causes failure due to roller bearings, methodology that utilize Waysides monitoring systems and physical inspections of the asset, action plans are developed to eliminate the root causes, increasing asset availability and predictability of train arrival times.

Keywords: Failure Analysis; Waysides; Wagons; Roller Bearing.

¹ Engenheiro mecânico, Analista de processos de engenharia, Gerência de Engenharia de material rodante, VLI, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheiro mecânico, Especialista de vagões, Gerência de Engenharia de material rodante, RUMO, Curitiba, Paraná, Brasil.

³ Engenheiro eletricitista, Supervisor de Engenharia de vagões, Gerência de Engenharia de material rodante, VLI, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Engenheiro de produção, Analista de processos de engenharia, Gerência de Engenharia de material rodante, VLI, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Engenheiro eletricitista, Analista de processos de engenharia, Gerência de Engenharia de material rodante, VLI, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil.

⁶ Bacharel em Sistemas de informação, Gerência de tecnologia da informação, VLI, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil.

⁷ Engenheiro mecânico, Analista de processos de engenharia, Gerência de Engenharia de material rodante, VLI, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o modal ferroviário apresenta-se como uma solução eficiente para escoamento de produtos em larga escala por grandes distâncias, dado a segurança, velocidade e custos. Esta eficiência depende principalmente da segurança operacional, visto que qualquer evento não programado causa grande impacto na circulação de trens. Neste escopo, garantir que o material rodante apresente alta confiabilidade é o mesmo que garantir a eficiência do transporte.

Os vagões de carga são compostos de diversos componentes que irão falhar em algum momento, seja devido a um evento externo ou devido aos desgastes naturais destes. Conhecer as possíveis falhas dos componentes e como bloqueá-las se torna então uma das tarefas mais importantes dos engenheiros de manutenção. Um dos componentes que mais causam impactos na circulação devido a falhas são os rolamentos.

Os rolamentos são um dos componentes mais importantes nos veículos ferroviários, sendo responsáveis por suportar o peso de toda estrutura do vagão e de transferir estas cargas para a via através das rodas. Qualquer falha em um rolamento acarretará provavelmente em um aquecimento do componente, afetando a circulação de trens, ou então em uma degola da manga de eixo, uma falha catastrófica em que o eixo se separa do rolamento. (1)

1.1 Conceitos básicos de manutenção

Ao se debater sobre a confiabilidade do material rodante alguns conceitos devem estar claros, visando evitar confusões referentes ao uso de certos termos nos quais a VLI utiliza de forma diferente das referências padrões, devido as necessidades de nossa operação.

De acordo com a British Standard (BS 4778), confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo determinado. (2)

De acordo com Nepomuceno (3), um sistema é um conjunto de dispositivos que operam formando uma unidade destinada a cumprir determinada missão ou executar determinado trabalho. O sistema pode ser complexo, formado por dois ou mais grupos de dispositivos, cada um cumprindo uma função no sistema.

Uma falha é uma ocorrência qualquer que leve o sistema a interromper a execução da missão que lhe é destinada, e que permanece até que sejam tomadas providências corretivas. (3)

Para a VLI, qualquer evento que cause a parada de um trem é considerado uma falha, independentemente de ter ocorrido dano nos componentes ou apenas um alarme de não conformidade. Esta abordagem deve-se ao impacto que a parada não programada de trens causa ao desempenho da companhia.

Modo de falha é o conjunto de condições sob o qual um dado sistema apresenta falta de desempenho em termos da função que deve executar. (3)

1.2 Truque – Aranha e rodeiro

O truque é a parte do vagão sobre a qual é assentado o estrado da caixa. Sua função é distribuir e transferir o peso dos vagões para os trilhos. Este é o sistema que permite a movimentação do vagão guiada pelos trilhos.

Sua função é inscrever nas curvas e amortecer os impactos provenientes da via e do contato roda-trilho, evitando que estes impactos sejam completamente transferidos para a caixa do vagão.

O amortecimento é feito através do sistema de molas e cunhas e pelo atrito entre superfícies. Estes elementos agem sobre os movimentos de oscilação de auto alinhamento do truque, proporcionando equilíbrio, estabilidade e amortecimento de impactos. Funções estas de alta responsabilidade e de grande importância dentro do sistema de transporte ferroviário. A Figura 1 apresenta uma visão explodida de um truque, com seus principais componentes:

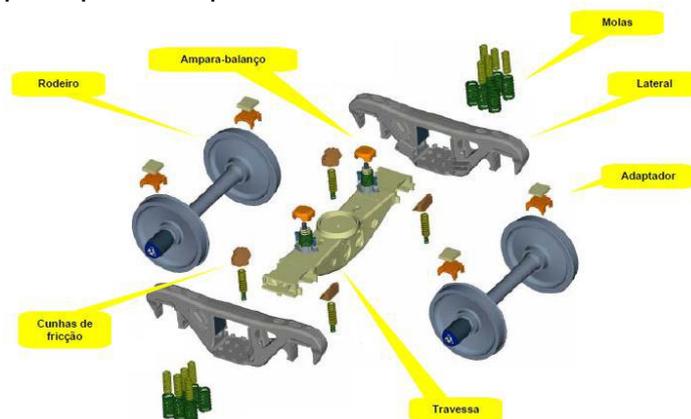


Figura 1. Vista explodida de um truque de 3 peças.

A lateral (Figura 2) é o componente que recebe a carga da travessa central e a transfere ao rodeiros. As duas laterais são ligadas pela travessa, acomodando as molas de suspensão e fixando os rodeiros nos pedestais.

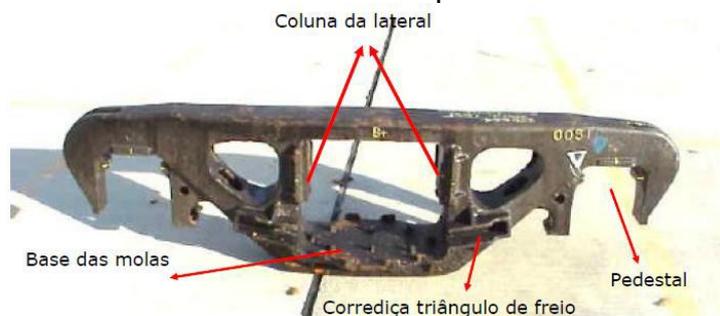


Figura 2. Travessa lateral.

Para o bom funcionamento dos truques é importante que a distância entre pedestais das duas laterais seja o mais próximo possível, esta variação é conhecida como base rígida do truque. Isso garante o paralelismo entre os eixos evitando, entre outras coisas, o desgaste desigual das rodas.

Dentro do Pedestal da lateral é inserido as pontas dos eixos do rodeiro, mais especificamente o rolamento. Os rolamentos são elementos mecânicos afixados aos rodeiros ferroviários. Normalmente há 8 rolamentos por vagão, uma em cada ponta dos 4 eixos do vagão. Seu projeto visa suportar toda a carga transmitida pelo vagão enquanto permite a rotação do eixo. Este é posicionado no pedestal da travessa lateral do truque, como pode ser visto abaixo na Figura 3.

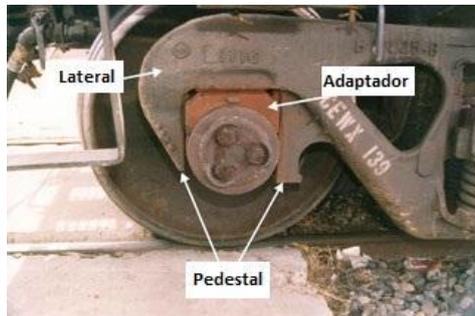


Figura 3. Posicionamento do rolamento.

Na atualidade utiliza-se dois tipos de rolamentos: cartucho e autocompensador (também conhecido como caixa de graxa). Ambos os tipos são encontrados na frota VLI.

O tipo caixa de graxa tem corpo robusto e tem rolos esféricos em anéis autocompensadores, o de cartucho é mais moderno e menor possui dois anéis para rolos cônicos.

Embora ainda se utilize rolamentos do tipo autocompensador, estes vem sendo substituídos pelo tipo cartucho, que apresenta diversas vantagens tais como:

- Facilidade de recuperação;
- Facilidade de manutenção;
- Facilidade de aplicação;
- Menor custo de manutenção e aquisição;
- Menor peso.

A grande desvantagem do tipo cartucho em relação ao autocompensador é a robustez do mesmo.

Para rolamentos autocompensadores (caixa de graxa), a própria caixa funciona como mancal de rolamento. Para rolamentos de cartucho é necessário um adaptador (Figura 4) para encaixe no pedestal da lateral.



Figura 4. Adaptador do rolamento.

O adaptador é o elemento de apoio, é utilizado para possibilitar adaptação dos rodeiros com cartuchos aos truques. O adaptador também é responsável por distribuir a carga em uma região maior do rolamento, distribuindo os esforços sobre mais rolos.

Em condição ideal um rolamento suportar dois tipos de carga, o peso do vagão (força radial) e o atrito (oposição a rotação). Porém durante a operação normal os rolamentos encontram forças adicionais em seus componentes, tais como desalinhamentos e forças axiais. A Figura 5. Essas forças que não são previstas em projeto causam diminuição da vida útil do componente, podendo leva-lo a falha.

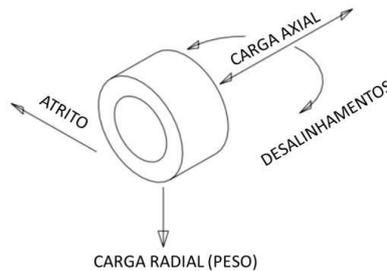


Figura 5. Cargas atuantes em um rolamento.

Dada a posição e função do rolamento, variações nos contatos entre o rolamento e o pedestal irão alterar o carregamento no rolamento, alterando a vida útil.

1.3 Falhas em rolamentos

Falhas em rolamentos podem ocorrer por diversos motivos, mas de maneira geral as falhas prematuras ocorrem por 7 motivos:

1. Defeito de fabricação
2. Montagem inadequada
3. Manutenção inadequada
4. Lubrificação inadequada
5. Contaminações
6. Aquecimento excessivo
7. Carga excessiva

Através destes sete motivos podem ocorrer certos padrões de falha. Estes são:

1.3.1 Oxidação e corrosão

São pontos na superfície dos anéis e elementos rolantes e podem ocorrer no espaçamento dos elementos rolantes sobre os anéis ou sobre toda superfície do rolamento.

1.3.2 Gaiola danificada

Danos na gaiola incluem: deformação da gaiola, fraturas e desgaste, fraturas do pilar da gaiola, deformação da face, desgaste na superfície da janela, desgaste na superfície do anel guia.

1.3.3 Corrosão por contato

Danos causados nas superfícies de rolagem do rolamento que ocorrem por deslizamento entre as superfícies. Ocorrer principalmente devido a falhas na lubrificação e vibrações de pequena amplitude devido a interferência insuficiente.

1.3.4 Escamamento

Quando um rolamento gira com carga, ocorre a saída de material pela fadiga do aço nas superfícies dos elementos rolantes ou as superfícies das pistas dos anéis interno e externos. Ocorre devido a cargas excessiva, falhas de instalação, carga de momento, contaminação por partículas ou água, etc

1.3.5 Alteração da coloração

A alteração na coloração da gaiola, elementos rolantes e pista dos anéis ocorre devido a deterioração do lubrificante à alta temperatura. O rolamento esquenta, começando a formar descoloração.

1.3.6 Trincas

Trincas na pista e nos elementos rolantes. Uso contínuo sob estas condições levam a trincas maiores ou fraturas. Causado por interferência excessiva, carga excessiva, cargas de choque, progressão de escamamento, geração de calor e corrosão por contato, deficiência no ângulo do eixo cônico, deficiência na circularidade do eixo.

1.3.7 Escorregamentos

Escorregamento é a danificação da superfície das pistas e elementos rolantes provocados pelo rompimento do filme de lubrificação. As principais causas são: Alta velocidade e baixa carga, acelerações e desacelerações repentinas, lubrificante inadequado, entrada de água.

1.3.8 Corrosão elétrica

A corrosão elétrica ocorrer quando há a passagem de corrente elétrica pelo rolamento. A corrente elétrica em forma de arco passa do eixo pelos anéis e pelos roletes derretendo os componentes.

1.3.9 Descascamento

Pequenos pontos aparecem na superfície das pistas e elementos rolantes. Com o desprendimento do material, surgirá posteriormente o escamamento.

1.3.10 Endentações

Covas na superfície de rolagem do rolamento causadas pela presença de corpos estranhos.

1.4 Waysides

Visando a antecipação de falhas que possam surgir em um vagão ao longo de uma viagem, foi montada uma estrutura de manutenção preditiva para estes ativos. Através do acompanhamento da performance de componentes críticos de cada vagão é possível gerenciar os desvios causados pelo mau funcionamento e/ou desgastes excessivos nos sistemas. Com utilização de um conjunto de equipamentos de monitoramento, conhecidos como Waysides, é possível identificar prováveis falhas antes que estas se manifestem de maneira mais grave.

Os Waysides, que são equipamentos para monitoramento que são instalados nas laterais da via, avaliam diversos parâmetros do material rodante, tais como o perfil de rodas, detecção de falha de rolamentos e performance dos truques. Através destes é possível avaliar parâmetros críticos, que podem provocar paradas indesejadas dos trens, e então direcionar o ativo para oficina quando for necessária a intervenção neste.

2 DESENVOLVIMENTO

Visando diminuir o número de eventos que causem paradas de trem devido a falha em rolamentos, desenvolveu-se uma metodologia de análise dos eventos, na qual avalia-se não somente o rolamento, como também todos os componentes que interagem com ele no sistema de movimentação do vagão.

Esta avaliação consiste em análises de dados provenientes dos equipamentos Waysides e de análises em campo dos componentes através da utilização de gabaritos e dispositivos de medição.

Ao ocorrer uma parada de trem devido a motivo vagão, com causa rolamento, é feita uma análise inicial pela equipe mecânica enviada para atendimento. Esta equipe verifica qual foi a causa da parada: Alarme de hot box tendência, alarme de hot box absoluto, danos no componente ou degola da manga de eixo. Independente da causa o tratamento é a substituição do rodeiro e adaptadores.

Caso seja o modo de falha não seja prontamente identificável (ex: falta de parafuso no rolamento) o evento é reportado a engenharia de vagões, que cataloga os eventos com base na metodologia de análise.

Inicialmente a avaliação de rolamentos se dá via sistemas de monitoramento de condição, estes sistemas embora nem sempre indiquem de forma assertiva a causa da falha, demonstram como o componente performava antes do evento de falha, o que gera um caminho para avaliação.

Avalia-se o componente rolamento quanto ao seu perfil de aquecimento e aos dados de monitoramento de perfil acústico. Estas informações permitem determinar se evento apresenta um perfil de falha crônica ou pontual. No caso de falhas crônicas continua-se com a análise avaliando-se os demais componentes via sistemas de monitoramento.

Verifica-se então o sistema de detecção de impacto de rodas e o de performance de truques, em busca de motivo para falhas detectadas por hot box ou com incidência de alarme no monitoramento acústico. Caso não seja detectada avaria nas rodas, ou caso haja algum alarme no detecto de performance de truques, avalia-se então o truque do vagão em oficina.

Com o truque do vagão em oficina avalia-se o rolamento quanto a folgas e torque, os adaptadores e laterais quanto aos seus dimensionais. Os rolamentos são direcionados para uma terceira, que realiza a desmontagem e análise dos componentes internos.

A Figura 6 apresenta o fluxo de análise seguido:

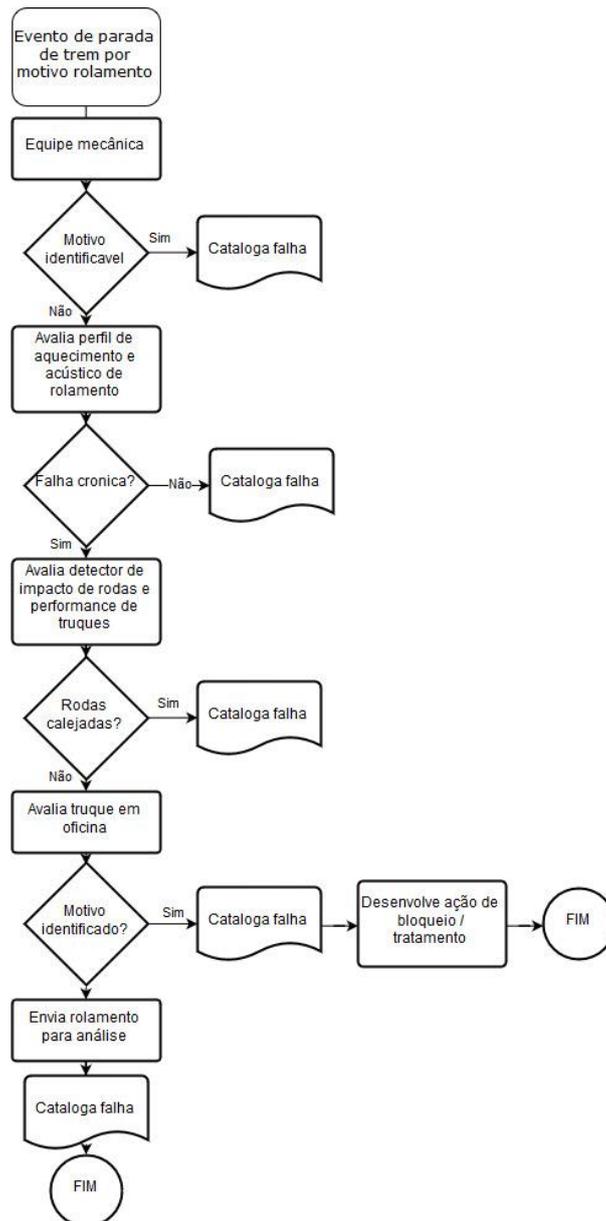


Figura 5. Fluxo do processo de análise.

A seguir são detalhados os procedimentos indicados no fluxograma.

2.1 Perfil de aquecimento

Atualmente a VLI possui dois modelos de equipamentos hot box, equipamento monocanal, em que se mensura a temperatura em apenas um local no corpo do rolamento, e os equipamentos multicanaís, que mostram a temperatura em vários pontos do rolamento.

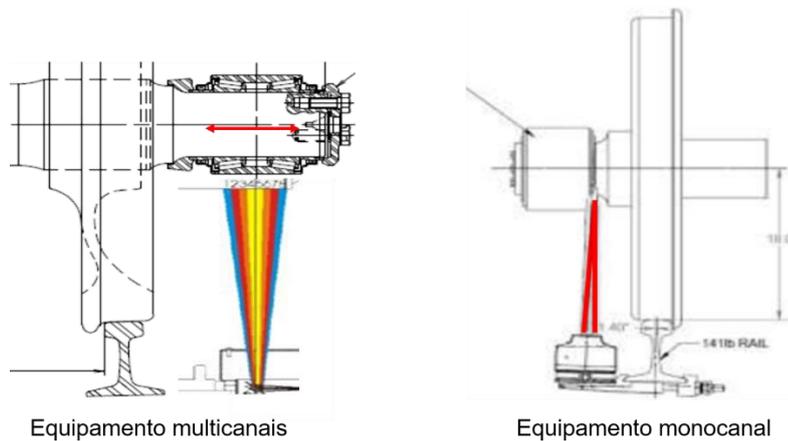


Figura 6. Equipamentos detecção Hot Box

Através da análise gráfica de como o rolamento aqueceu, pode-se avaliar algumas das avarias e falsos positivos. De acordo com Keith Gary [4], 32% dos eventos de hot box nos estados unidos são identificados posteriormente como avaria não identificada, sendo que grande parte destes eventos são relacionadas a alívio de pressão no selo, não indicando avarias no componente.

Aquecimentos não homogêneos podem indicar áreas de contato irregular, ou aquecimento devido a fatores externos ao rolamento (ex: assentamento irregular do adaptador, roda quente irradiando calor).

Aquecimentos em todo o corpo do rolamento ou nas áreas centrais, nas quais não há presença de roletes, normalmente indicam avarias severas nos componentes.

2.2 Histórico detector acústico de rolamentos

A medição acústica é um método de monitoramento de equipamentos rotativos em amplo crescimento. Esta tecnologia consiste no uso de microfones para captar os sons dos veículos passantes. O sistema de medição utilizado pela VLI é conhecido como RailBAM, cujo foco são os rolamentos e rodas.

Defeitos em rolamentos produzem vibrações em frequências específicas, que podem ser conectadas as características do defeito. O RailBAM consiste na aquisição do ruído emitido pelo rolamento ao passar pelo sensor. Este ruído é então tratado através de filtros digitais e realização de transformada rápida de Fourier (FFT), nas quais através da amplitude da onda pode-se inferir qual a gravidade da avaria e através da frequência de pico pode-se avaliar qual o tipo de avaria.

Os tipos de falha detectáveis pelo RailBAM são:

- Superfície de rolagem do rolamento
 - Cartucho: danos no cone, capa e roletes
 - Caixa de graxa: danos no anel interno/externo e roletes.
- Ruído excessivos: Pode indicar um dano severo ao rolamento
- Impactos na roda
- Folgas e batimentos

Rolamentos identificados com defeitos na superfície de rolagem estão relacionados normalmente a fadiga do componente, sendo que nem sempre apresentam característica identificável nos detectores de caixa quente. Aqueles com batimento tendem a apresentar aumento de temperatura.

2.3 Histórico detector de impacto de rodas

Uma das causas mais comuns de danos nos componentes internos dos rolamentos ferroviários são danos superficiais nas rodas. A presença de calos e achatamentos fazem com que ocorra uma força de grande magnitude durante o contato roda trilho. Grande parte deste impacto é transmitido para os rolamentos, podendo gerar danos superficiais e frouxidões nos roletes.

Avalia-se então se o rolamento que apresentou aumento de temperatura teve em seu histórico de passagens pelo equipamento de monitoramento de impacto alguma medição acima de 150 kN (valor equivalente a carga estática da roda mais 20%). Caso o vagão tenha múltiplas passagens com valores entre 150KN e 200KN ou uma passagem com impacto acima de 400KN, infere-se que a causa da falha foi o defeito superficial da roda.

2.4 Histórico detector de performance de truques

O detector de performance de truque (TPD) identifica desalinhamento nos truques, identificando os vagões com má performance operacional. Através de um sistema de lasers verifica-se o posicionamento dos rodeiros em relação ao centro de via e a rotação quanto ao centro de via. Estes dois parâmetros são avaliados para cada rodeiro do truque, e através da combinação dos valores infere-se quais os possíveis defeitos no truque.

De acordo com Tournay [5] vagões com ângulos de ataque altos indicam forças laterais altas, o que significa um risco maior de descarrilamento e possíveis sobrecargas ao rolamento. Valores altos de posicionamento na via geralmente indicam forças laterais baixas e possivelmente altas forças longitudinais, normalmente causado por desgaste desigual nos rodeiros.

Ao avaliar o histórico do vagão que falhou no detector de performance de truques, busca-se indicações de em que subsistema do truque pode haver alguma não conformidade (ex: Erros de posição altos podem indicar folga excessiva entre adaptador e pedestal). Esta informação é utilizada de input para inspeção em campo.

2.5 Inspeção em campo

A realização de inspeção em vagões requer que o inspetor tenha conhecimento de todos os componentes do vagão, saiba a função e princípio de funcionamento de cada um deles, a fim de poder identificar qualquer anormalidade.

Os principais itens verificados em inspeções de campo são sapatas de freio, molas, alavanca de força, triangulo de frio, laterais do truque, travessa central, adaptadores e rodeiros.

Verifica-se a posição das sapatas e triangulo de freio e condição das rodas para avaliar se pode ter ocorrido aquecimento das rodas com condução para o rolamento.

Examina-se o conjunto de molas e cunhas em busca de sinais de não conformidades que possam indicar um aumento nos esforços laterais nos trilhos, que podem gerar sobrecarga nos rolamentos.

Verifica-se a abertura dos pedestais e estado do teto do pedestal (planicidade e altura da chapa de desgaste) para avaliação do encaixe do adaptador. Folgas excessivas podem permitir um deslocamento do rodeiro causando choque entre o rolamento e o pedestal. Analisa-se também o desgaste do Thrust lug. Avalia-se também o paralelismo das laterais através de gabarito de base rígida.



Figura 7. Avaliação dos truques.

Avalia-se os pads, adaptadores e rolamentos em busca de padrões ou desgastes desiguais que possam indicar mau assentamento. O contato irregular cria concentração de tensão nas pistas de rolagem, aquecimento, posterior fadiga, causando descascamento a longo prazo dos componentes internos.



Figura 8. Distribuição de carga nos rolamentos.

No rolamento verifica-se o estado da capa, as folgas axiais e o torque nos parafusos. Não conformidades neste componente são correlacionadas de forma direta com o evento que gerou a falha no trem.



3 CONCLUSÃO

Conforme exposto acima desenvolveu-se uma metodologia de análise dos eventos de falha de trem (parada não programada) por causa rolamento de vagão. Através de um fluxo de análise bem estabelecido cataloga-se todas as condições existentes no vagão que propiciaram a ocorrência do evento, gerando insumos para criação de planos de ação para bloqueio de eventos futuros.

Através da metodologia implementada conseguiu-se identificar situações de risco em algumas frotas de vagões. Desenvolveu-se ações de bloqueio para estas não conformidades, que geraram diminuição de 90% nos eventos de falha por motivo rolamento.

Pode-se perceber que a metodologia desenvolvida foi eficiente para identificação das condições que levam a paradas de trem, sendo uma ferramenta essencial para as atividades de engenharia de manutenção da companhia.

REFERÊNCIAS

- 1 Zhao, Y.X., Zhang, B. Failure Analysis on Bearings of Railway Freight Cars with Tilting Bogie. Advanced Material Research. 2012; Vol 544: 298 – 303.
- 2 Scarpin, C.A. Análise Sistêmica de falhas. 2ª edição. Nova Lima: Falconi Editora; 2013.
- 3 Nepomuceno, L.X. Técnicas de manutenção preditiva – vol 1. São Paulo: Blucher; 2014.
- 4 Gary, K. Hot Bearing Inspection: AAR Field Manual Rule 36. Amsted Rail; 2016
- 5 Tournay, H.M: Inspection of Cars Identified as Poor Performers at Truck Performance Detectors. Pueblo, Colorado: Transportation Technology Center Inc (TTCI); 2009.