

**CARLOS AUGUSTO BERNALDINO MERUSSE
CONRADO LUIS DA COSTA
MARCUS VINICIUS RODRIGUES COUTINHO**

**ESTUDO DE CASO DO USO DE LUBRIFICADOR DE FRISO DE
RODAS NO TREM DA SÉRIE 1700 DA CPTM E SUA INFLUÊNCIA NO
REPERFILAMENTO DAS RODAS**

**São Paulo
2012**

**CARLOS AUGUSTO BERNALDINO MERUSSE
CONRADO LUIS DA COSTA
MARCUS VINICIUS RODRIGUES COUTINHO**

**ESTUDO DE CASO DO USO DE LUBRIFICADOR DE FRISO DE
RODAS NO TREM DA SÉRIE 1700 DA CPTM E SUA INFLUÊNCIA NO
REPERFILAMENTO DAS RODAS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Tecnologia
Metroferroviária**

**São Paulo
2012**

**CARLOS AUGUSTO BERNALDINO MERUSSE
CONRADO LUIS DA COSTA
MARCUS VINICIUS RODRIGUES COUTINHO**

**ESTUDO DE CASO DO USO DE LUBRIFICADOR DE FRISO DE
RODAS NO TREM DA SÉRIE 1700 DA CPTM E SUA INFLUÊNCIA NO
REPERFILAMENTO DAS RODAS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Tecnologia
Metroferroviária**

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Molinari

**São Paulo
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA

Merusse, Carlos Augusto Bernaldino;

Estudo de caso do uso de lubrificador de friso de rodas no trem da série 1700 da CPTM e sua influência no reperfilamento das rodas / C.A.B. Merusse, C.L. da Costa, M.V.R. Coutinho. – São Paulo, 2013.

67 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Lubrificantes 2. Rodas 3. Trens I. Costa, Conrado Luis da II. Coutinho, Marcus Vinicius Rodrigues III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia IV. t.

RESUMO

A proposição desta monografia envolve o estudo de caso do uso de lubrificador de friso de rodas no trem da série 1700 da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), como o objetivo de avaliar a eficiência da lubrificação do contato friso da roda com o trilho. Focalizou-se o intervalo entre reperfilamento das rodas e se percebeu que a incidência maior de intervenções foi motivada pelo desgaste de seus frisos. Foi apresentada uma visão geral sobre as rodas ferroviárias utilizadas em trens de passageiros pela empresa e os modos de desgaste que as afetam. Na sequência foi destacado o acompanhamento da interface dinâmica entre os frisos das rodas do trem e o trilho, tendo como referência os tipos e níveis de degradação dos frisos em duas condições: uma sem o uso de lubrificação nos frisos das rodas e a outra utilizando a lubrificação com o sistema embarcado no trem.

A investigação realizada destacou a relevância da implementação do sistema de lubrificador de friso de rodas, demonstrando sua atratividade tanto em termos de vantagens e benefícios para o processo de manutenção do trem, bem como na relação custo-benefício que este investimento representa.

Palavras-chave: desgaste, roda ferroviária, trilho, contato roda-trilho, lubrificador de friso.

ABSTRACT

The proposition of this monograph involves a case study of the use of wheel flange lubricator in the 1700 CPTM railway series (CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos), in order to evaluate the efficiency of the lubrication of wheel flange contact with the rail, analyzing the time gap between the wheels profile machining, driven by flange wear. It was noticed that the higher incidence of intervention was motivated by the wear of its friezes. It was presented an overview of railway wheels used on passenger trains by the company and the wear modes that affect them. Following was seconded monitoring the dynamic interface between the flanges of the wheels of the train and the track, with reference to the types and levels of degradation friezes under two conditions: one without the use of lubrication in wheel trims and the other using the lubrication the embedded system on the train. The research highlighted the importance of implementing the wheel flange lubricator system, demonstrating their attractiveness in terms of advantages and benefits for the maintenance process of the train, as well as cost-effective investment that this represents.

Keywords: wear, wheel rail, rail, rail-wheel contact, wheel flange lubricator.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	–	Truque ferroviário para vagões	15
Figura 2.2	–	Rodeiro ferroviário	16
Figura 2.3	–	Identificação de partes da roda ferroviária	17
Figura 2.4	–	Trinca térmica na superfície de rolamento da roda	19
Figura 2.5	–	Trinca térmica no ombro da roda	19
Figura 2.6	–	Desprendimento de material da roda	20
Figura 2.7	–	Travamento de roda	20
Figura 2.8	–	Calo de roda	21
Figura 2.9	–	Cova de roda	21
Figura 2.10	–	Escoamento de material da roda	22
Figura 2.11	–	Sulco circunferencial	22
Figura 2.12	–	Ondulação	23
Figura 2.13	–	Friso vertical	23
Figura 2.14	–	Sistema de lubrificação roda / trilho fixo na via permanente	24
Figura 2.15	–	Sistema de lubrificação de friso de roda por bastão lubrificante	25
Figura 2.16	–	Exemplo da transferência do lubrificante da roda com dispositivo de lubrificação para a roda sem dispositivo de lubrificação	26
Figura 2.17	–	Detalhe da formação da película lubrificante no friso da roda ..	26
Figura 2.18	–	Detalhe da pulverização de lubrificante no friso da roda	27
Figura 2.19	–	Ilustração do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha simples	28
Figura 2.20	–	Esquemático do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha simples	28
Figura 2.21	–	Esquemático do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha dupla com reservatório de lubrificante pressurizado	29
Figura 2.22	–	Esquemático do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha dupla com uso de bomba pneumática	29

Figura 3.1	– Trem da série 1700 da CPTM.....	33
Figura 3.2	– Formação do trem da série 1700 da CPTM.....	33
Figura 3.3	– Desenvolvimento do trecho Francisco Morato-Jundiaí da Linha 7 (Rubi)	40
Figura 3.4	– Localização das rodas do trem	41
Figura 3.5	– Perfil da roda dos trens da CPTM.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	– Pressões e esforços no sistema de freio dos carros motores do trem.....	36
Tabela 3.2	– Pressões e esforços no sistema de freio dos carros reboques do trem.....	36
Tabela 3.3	– Desacelerações por frenagem do trem.....	38
Tabela 3.4	– Dados básicos operacionais da via.....	40
Tabela 3.5	– Classificação das degradações da roda.....	42
Tabela 3.6	– Classificação das trincas na superfície de rolamento da roda.....	43
Tabela 3.7	– Classificação do desprendimento de materiais na superfície de rolamento da roda.....	43
Tabela 3.8	– Classificação do tipo de travamento / calo na superfície de rolamento da roda.....	43
Tabela 3.9	– Classificação da cova na superfície de rolamento da roda.....	44
Tabela 3.10	– Classificação do tipo de escoamento de material na superfície de rolamento da roda.....	44
Tabela 3.11	– Espessura do friso.....	45
Tabela 3.12	– Altura do friso.....	45
Tabela 3.13	– Espessura do aro da roda.....	45
Tabela 3.14	– Diferença de diâmetro entre rodas do trem.....	46
Tabela 4.1	– Período de avaliação do trem sem lubrificador de friso de rodas.....	47
Tabela 4.2	– Intervenções de manutenção nas rodas do trem sem lubrificador de friso de rodas.....	47
Tabela 4.3	– Resumo: Intervenções no trem sem lubrificador de friso de rodas.....	48
Tabela 4.4	– Período de avaliação do trem com lubrificador de friso de rodas.....	48
Tabela 4.5	– Intervenções de manutenção nas rodas do trem com lubrificador de friso de rodas.....	49
Tabela 4.6	– Resumo: Intervenções no trem com lubrificador de friso de rodas.....	50

Tabela 4.7 – Trem sem lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro 1713.....	53
Tabela 4.8 – Trem sem lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A713.....	54
Tabela 4.9 – Trem sem lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A714.....	55
Tabela 4.10 – Trem sem lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro 1714.....	56
Tabela 4.11 – Trem com lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro 1713.....	57
Tabela 4.12 – Trem com lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A713.....	58
Tabela 4.13 – Trem com lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A714.....	59
Tabela 4.14 – Trem com lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro 1714.....	60
Tabela 4.15 – Consumo de lubrificante	61
Tabela 4.16 – Preço para usinagem de rodeiro	61
Tabela 4.17 – Preço do sistema de lubrificação de friso de rodas.....	61
Tabela 4.18 – Preço do lubrificante de friso de rodas.....	62
Tabela 5.1 – Intervalo entre reperfilamento de rodas	63
Tabela 5.2 – Valor gasto entre reperfilamento de rodas.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO LITERÁRIA.....	15
2.1	RODEIRO / RODA FERROVIÁRIA	15
2.1.1	Aplicação do rodeiro / roda ferroviária	15
2.1.2	Mecanismos de desgaste das rodas ferroviárias.....	17
2.1.3	Degradações observadas na roda.....	19
2.2	TIPOS DE SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO RODA / TRILHO	23
2.2.1	Sistema fixo na via permanente.....	23
2.2.2	Sistema móvel embarcado no trem	25
2.3	LUBRIFICANTES UTILIZADOS	30
2.3.1	Bastões lubrificantes.....	30
2.3.2	Graxas	31
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
3.1	METODOLOGIA APLICADA	32
3.2	SELEÇÃO DO TREM	32
3.2.1	Formação do trem.....	33
3.2.2	Características operacionais do trem	34
3.2.3	Características dimensionais do trem.....	34
3.2.4	Características da suspensão e freio do trem	34
3.3	SISTEMA DE LUBRIFICADOR DE FRISO DE RODAS UTILIZADO	35
3.4	PREPARAÇÃO DO TREM	35
3.4.1	Trem sem o sistema de lubrificação de frisos de rodas	36
3.4.2	Trem com o sistema de lubrificação de frisos de rodas	38
3.5	SELEÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS VIAS	39
3.6	PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	41
3.6.1	Identificação das rodas no trem	41
3.6.2	Perfil da roda.....	41
3.6.3	Classificação das degradações da roda	42
3.6.4	Desvio dimensional admissível entre rodas	46
4	RESULTADOS	47
4.1	QUADROS RESUMO COM OS RESULTADOS DO TREM SEM O SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE FRISO DAS RODAS.....	47

4.2	QUADROS RESUMO COM OS RESULTADOS DO TREM COM O SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE FRISO DAS RODAS.....	48
4.3	RESULTADOS DAS INSPEÇÕES	52
4.4	CONSUMO DE LUBRIFICANTE	61
4.5	PREÇOS ENVOLVIDOS	61
4.5.1	Usinagem de rodeiro	61
4.5.2	Compra e instalação do dispositivo de lubrificação de friso das rodas.....	61
4.5.3	Preço do lubrificante de friso das rodas.....	62
5	CONCLUSÃO.....	63
6	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O contato roda / trilho presente no sistema ferroviário vem passando por constantes evoluções e aprimoramentos, em função das melhores tecnologias dos veículos e da via permanente, das condições operacionais mais exigentes e seguras e da necessidade de redução dos custos de manutenção.

Neste sentido, alguns fatores considerados para a obtenção de uma maior eficiência do transporte ferroviário estão diretamente ligados às características do contato roda / trilho, a saber: velocidade de operação, carga por eixo, segurança contra o descarrilamento e desgaste.

A velocidade da operação tem correspondência com a estabilidade dinâmica do veículo. Por sua vez, a carga por eixo está ligada à área de contato entre roda e trilho. Já, o descarrilamento está relacionado com o ângulo de contato da interface roda / trilho [1].

O desgaste é normalmente influenciado pelas características metalúrgicas e de dureza dos elementos, pelas cargas térmicas e mecânicas inerentes à operação ferroviária, assim como pelo perfil da roda e do trilho.

O acompanhamento efetivo da taxa de desgaste do friso da roda ferroviária oferece um importante parâmetro para a avaliação da sobrevida da roda.

Trens equipados com sistemas de lubrificação da interface friso / trilho compõem uma realidade relativamente nova na Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). O uso de sistemas de lubrificação, embarcados ou não, no contato roda / trilho, visa diminuir o desgaste do friso da roda e do trilho, aumentando suas vidas úteis e, conseqüentemente, reduzindo o número de paradas para manutenção. O sistema de lubrificação roda / trilho utilizado neste estudo é o embarcado no trem, de uso recente na CPTM.

O presente estudo de caso envolve o acompanhamento do desgaste do friso da roda ferroviária do trem série 1700 da CPTM, com foco no intervalo entre reperfilamentos das rodas. Com isso, visamos obter parâmetros que possam ser aplicados para estimar o intervalo entre reperfilamento de rodas, comparando o emprego ou não do sistema de lubrificação embarcado nos trens. Além disso, a metodologia envolvida nesta investigação poderá ser adotada como meio de análise

para a compreensão do desgaste das rodas nas diversas séries de trens da CPTM, associadas às linhas nas quais circulam.

A lubrificação roda / trilho utilizando o sistema embarcado nos trens é de uso muito recente na CPTM e necessitamos consolidar esta tecnologia. Portanto, avaliar o sistema de lubrificação de friso de rodas adotado pela CPTM, analisando os resultados obtidos antes e após a sua implementação nos trens da série 1700, oferecerá embasamento para a implementação desta tecnologia. É importante que se avalie as vantagens e os alcances deste sistema, as consequências diretas e indiretas de seu uso para a adoção nos trens em circulação.

Além do fator custo, a utilização do sistema de lubrificação deverá, certamente, trazer ganhos adicionais de alta relevância para a fadiga de contato, a estabilidade e a segurança dos veículos, a melhor negociação em curvas e o menor desgaste de trilho, ainda que estes elementos não sejam alvo do presente trabalho.

Este estudo de caso procura avaliar a eficiência do sistema de lubrificação de frisos de roda embarcado no trem em ensaios e levantamentos de campo, verificando suas consequências sobre a periodicidade entre intervenções de manutenção para reperfilamento e troca de rodas e sobre o custo envolvido neste processo.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 RODEIRO / RODA FERROVIÁRIA

2.1.1 Aplicação do rodeiro / roda ferroviária

O veículo ferroviário, uma locomotiva ou vagão de carga ou de passageiros, também chamado de carro ferroviário, em sua estrutura de rodagem, é formado basicamente, mas não exclusivamente, por uma caixa (carroceria) apoiada sobre dois truques (Figura 2.1). Os truques são responsáveis pela transferência da carga imposta pelo veículo aos trilhos e, através dos rodeiros, pela movimentação e guia dos vagões ao longo da via férrea [1].

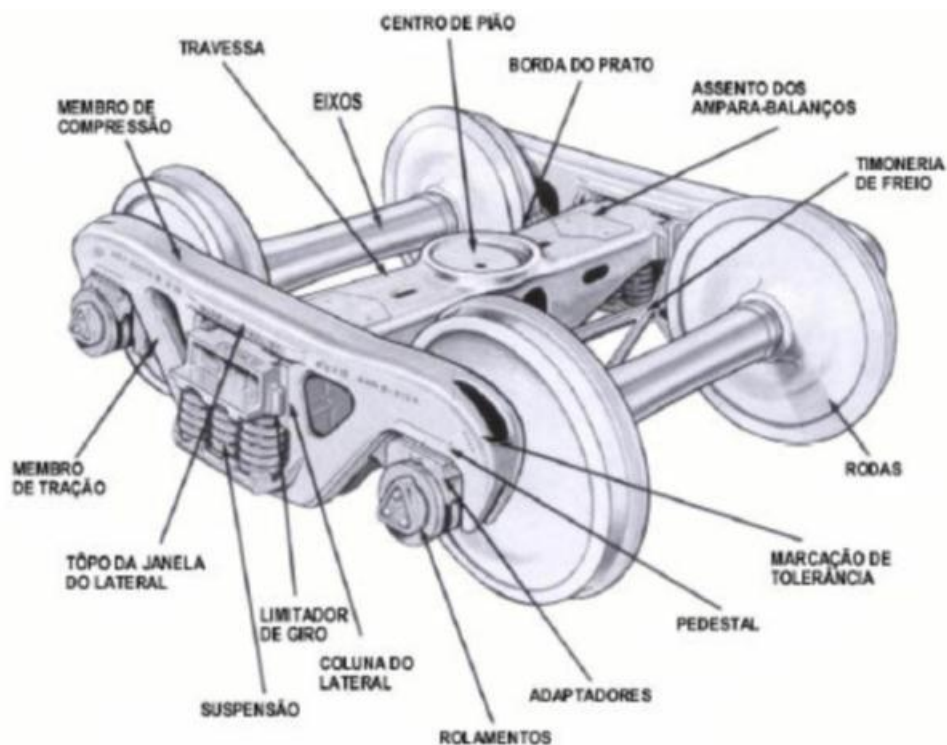


Figura 2.1 – Truque ferroviário para vagões [1]

O rodeiro (Figura 2.2) é o conjunto formado pelo eixo e duas rodas, montados rigidamente um ao outro.

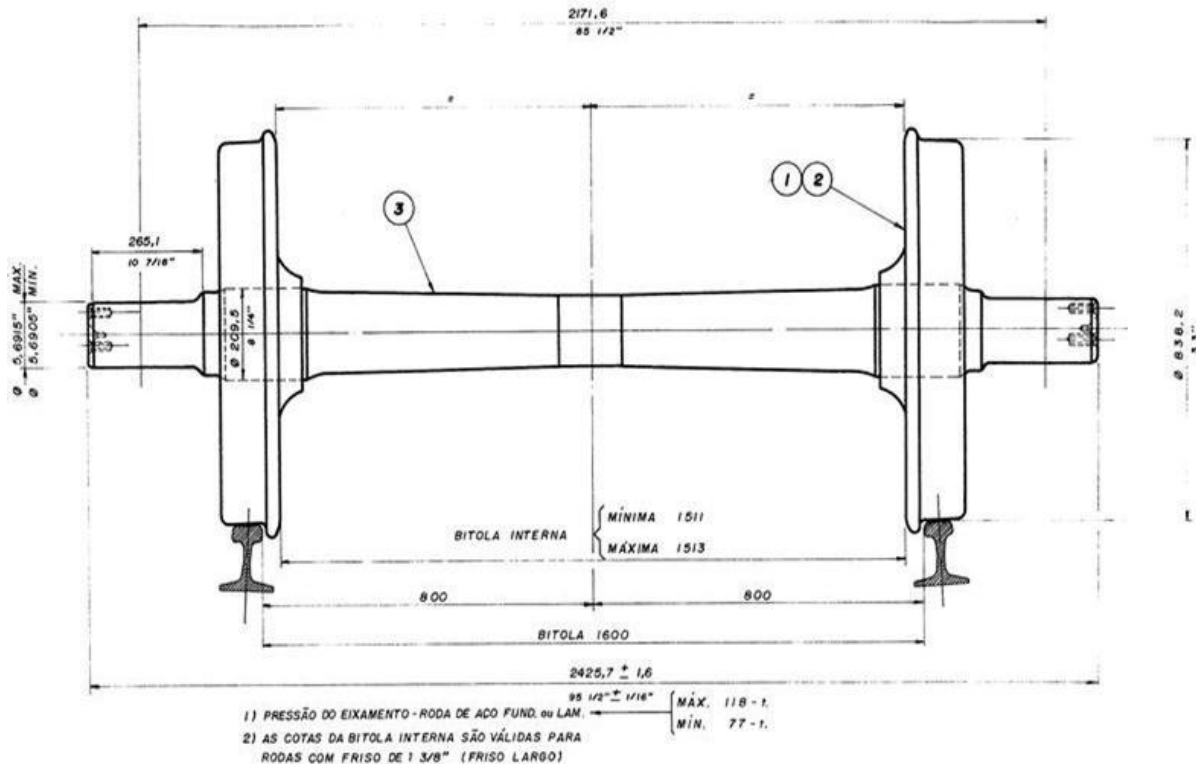
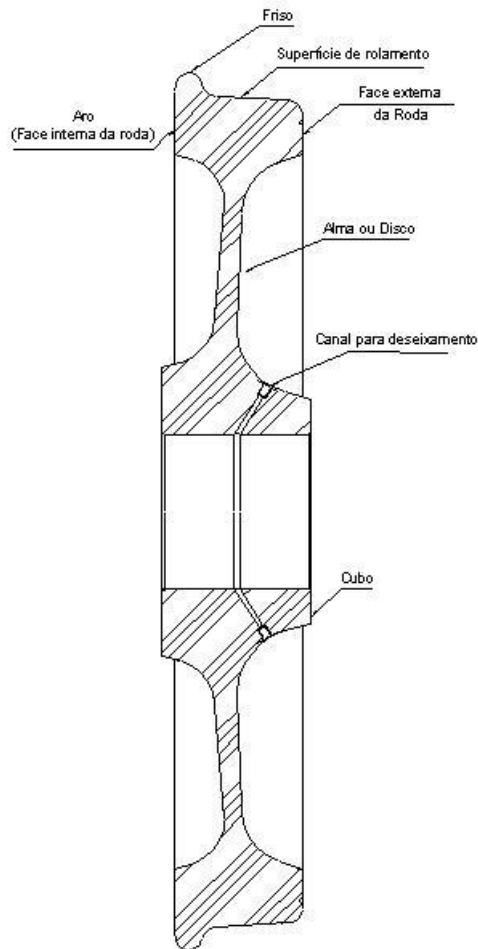


Figura 2.2 - Rodeiro ferroviário [3]

A roda ferroviária é um componente do rodeiro fabricado em aço fundido ou forjado, cuja especificação é normalizada. As normas utilizadas em nossas ferrovias são as recomendadas pela Associação de Ferrovias Americanas (AAR) e pelo Comitê Europeu de Normalização – Normas Europeias (EN), que definem a classe de aplicação, material e composição química, tratamentos térmicos, níveis de dureza, marcação, processos de homologação e de inspeção, certificação do fornecedor e critérios de recebimento do material e seu processo de fabricação e inspeção.

A Figura 2.3 mostra a roda em corte, identificando suas partes.



Friso

Parte da roda que limita a bitola do carro ferroviário. O friso tem a função de garantir a mudança de direção do carro ferroviário

Superfície de rolamento

A superfície de rolamento também chamada de perfil da roda é a superfície de contato da roda com o trilho e segue um desenho padronizado por normas internacionais

Aro ou face interna

Chamamos de aro a face interna da roda

Face externa ou ombro

Chamamos de ombro a face externa da roda

Alma ou disco

É a parte estrutural que sustenta e dá apoio à superfície de rolamento em relação ao cubo onde é encaixado o eixo do rodeiro

Canal para deseixamento

Canal para injeção de óleo sob pressão para facilitar a desmontagem do eixo

Cubo

Parte mais densa da roda onde é encaixado o eixo

Figura 2.3 – Identificação de partes da roda ferroviária [4]

2.1.2 Mecanismos de desgaste das rodas ferroviárias.

A interface roda / trilho constitui um sistema tribológico de grande interesse para a pesquisa, uma vez que apresenta variados mecanismos de desgaste, muitas vezes relacionados a importantes transformações metalúrgicas na roda e no trilho, resultado de cargas térmicas e mecânicas aplicadas ao sistema e inerentes à operação da ferrovia. Estes mecanismos podem levar à formação de defeitos na pista de rolamento da roda e que serão posteriormente responsáveis pelo seu sucateamento ou retrabalho, através do processo de usinagem, refazendo seu perfil original (reperfilamento da roda) [1].

A sobrevida da roda ferroviária é frequentemente avaliada pela taxa de desgaste do friso. O desgaste do mesmo está diretamente relacionado com as forças geradas

entre o friso da roda e seu contato com o boleto do trilho, durante o desenvolvimento de uma curva pelo veículo ferroviário. O desgaste da roda aumenta na medida em que o raio de curvatura diminui e a velocidade de translado ou a carga por eixo aumentam. Variáveis tais como a bitola da via, perfil de rolamento das rodas sobre o boleto do trilho e características dinâmicas do veículo também influenciam nas forças que surgem no friso. Obviamente esse desgaste também é influenciado pela metalurgia das rodas e dos trilhos.

O coeficiente de atrito na interface friso / trilho também influencia significativamente as taxas de desgaste dos frisos. Fatores como a contaminação sobre os trilhos e variáveis climáticas como umidade e temperatura são conhecidos por influenciar o coeficiente de fricção.

O coeficiente de atrito da interface friso / trilho pode ser ajustado por meio de diferentes métodos de lubrificação, como um meio eficaz de controlar o desgaste. Historicamente, esse ajuste tem sido feito pela aplicação de lubrificantes líquidos (óleo ou graxa), quer por sistemas embarcados nos trens, que pulverizam o friso da roda, quer por sistemas fixos instalados nas vias.

Outros benefícios conhecidos pela lubrificação de frisos são a diminuição do consumo de combustível, devido à redução da resistência à curvatura, e a redução do ruído gerado pelo ataque do perfil da roda no boleto do trilho, durante as curvas [8]. No entanto, os principais critérios para a indicação da eficácia da lubrificação são as taxas de desgaste das rodas e dos trilhos [2].

As rodas estão sujeitas a dois tipos de desgaste principais: desgaste abrasivo e desgaste por deslizamento.

O desgaste abrasivo tem origem em partículas externas ao sistema roda /trilho / sapata, como areia, brita ou em partículas e fragmentos desprendidos do sistema.

O desgaste por deslizamento ocorre segundo os mecanismos de deformação plástica, fadiga de contato, fadiga termomecânica, oxidação, microescorregamento e macroescorregamento da roda sobre trilho. Estes mecanismos, em conjunto com a abrasão, podem levar a roda e o trilho a uma condição de desgaste normal e homogêneo, com redução das dimensões do friso e do aro da roda e do boleto do trilho. Podem ainda formar defeitos na pista e no friso tais como escoamento, escamação (*shelling*), calos e lascagens (*spalling*).

O escoamento deve-se às deformações plásticas macroscópicas. Ele pode ser causado por carregamento, que muitas vezes ultrapassa o limite de escoamento do

material, por aquecimento oriundo da operação de frenagem ou por microescorregamentos, devido aos arrastes em curvas causados por diferença de velocidade tangencial entre as duas rodas do rodeiro ou ainda devido à rigidez do truque [1].

2.1.3 Degradações observadas na roda

2.1.3.1 Trinca térmica

São pequenas fissuras normalmente provocadas por resfriamentos bruscos, após aquecimento contínuo gerado pela sapata de freio durante a frenagem, e que se situam, na maioria das vezes, na superfície de rolamento.

As fissuras também podem aparecer no friso e no ombro da roda, quando as sapatas de freio estão mal posicionadas.

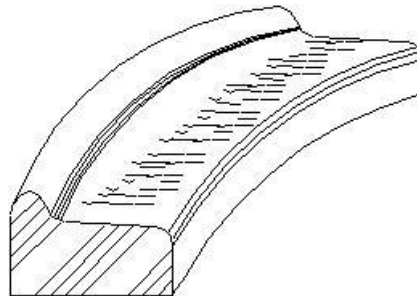


Figura 2.4 – Trinca térmica na superfície de rolamento da roda [6]

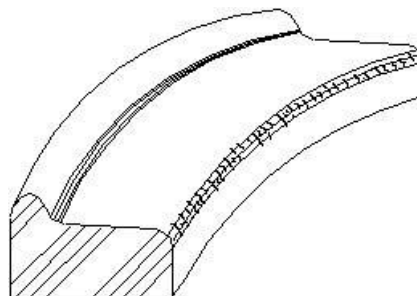


Figura 2.5 – Trinca térmica no ombro da roda [6]

2.1.3.2 Desprendimento de material

É a liberação de pedaços de metal da superfície de rolamento da roda

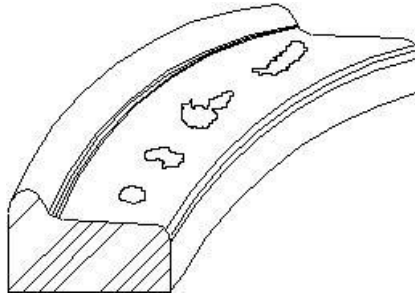


Figura 2.6 – Desprendimento de material da roda [6]

2.1.3.3 Travamento / Calo

É a planicidade de uma região da superfície de rolamento da roda normalmente provocada pelo arraste da roda sobre o trilho. Dependendo da intensidade do arraste da roda, também podemos observar o escoamento do material, dando origem ao que chamamos de calo.

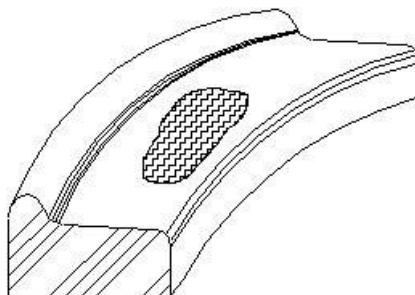


Figura 2.7 – Travamento de roda [6]

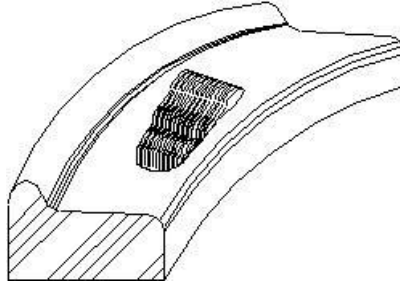


Figura 2.8 – Calo de roda [6]

2.1.3.4 Cova

É uma depressão (cratera) na superfície de rolamento da roda, normalmente ocasionada pelo desprendimento de material.

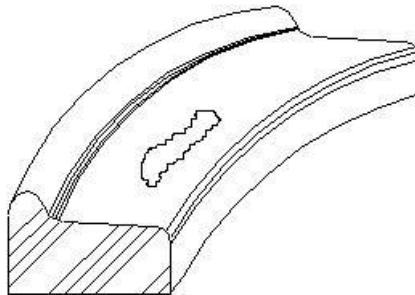


Figura 2.9 – Cova de roda [6]

2.1.3.5 Escoamento de material

É a migração de material da superfície de rolamento para a face externa da roda, formando rebarbas. Normalmente verificado próximo do fim da vida útil da roda.

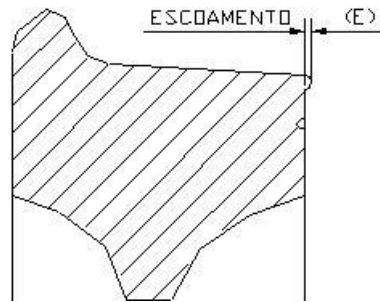


Figura 2.10 – Escoamento de material da roda [6]

2.1.3.6 Sulco circunferencial

São sulcos na superfície de rolamento e normalmente são provocados pelo contato da contra-sapata com a roda ou corpo estranho de alta dureza no interior da sapata de freio.

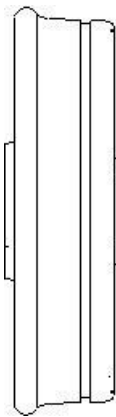


Figura 2.11 – Sulco circunferencial [6]

2.1.3.7 Ondulação

É o desgaste irregular na superfície de rolamento, na região de atuação da sapata de freio.

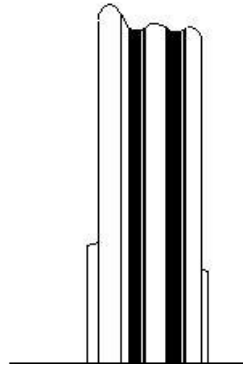


Figura 2.12 – Ondulação [6]

2.1.3.8 Friso vertical

O friso vertical ocorre quando a superfície de rolamento da roda não apresenta mais a inclinação original.

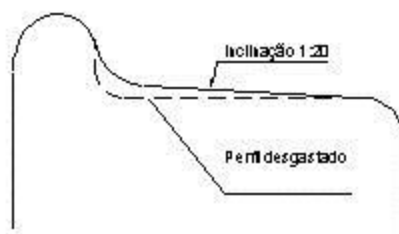


Figura 2.13 – Friso vertical [6]

2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO RODA / TRILHO

2.2.1 Sistema fixo na via permanente

Nos sistemas fixos o lubrificante é aplicado no boleto do trilho na região das curvas.

O acionamento pode ser mecânico, fazendo uso da passagem das rodas como força mecânica para acionamento da bomba de lubrificante, ou através de sensores de detecção de roda que acionam uma bomba elétrica durante a passagem do trem. Neste sistema é possível se obter um maior controle da quantidade de lubrificante, devido à possibilidade da utilização de controladores eletrônicos programáveis.

Nestes sistemas, a bomba, os aplicadores, o sistema de controle e o reservatório de lubrificante ficam alojados ao longo da via, próximos à região de aplicação.

Um exemplo de aplicação é o apresentado na Figura 2.14, que utiliza um sensor de proximidade indutivo para detectar a roda do trem e acionar o sistema de bombeamento de graxa. Conta com um controlador eletrônico que regula o tempo de acionamento e a velocidade do motor da bomba, controlando assim a vazão de graxa aplicada, o nível do reservatório de graxa e as barras de contato para aplicação da graxa (réguas de lubrificação). O sistema é alimentado por corrente alternada em 110 / 220 Vca ou, em regiões em que não há rede elétrica disponível, através de bateria automotiva de 12 Vcc, recarregada continuamente através de um painel solar (gerador fotovoltaico).

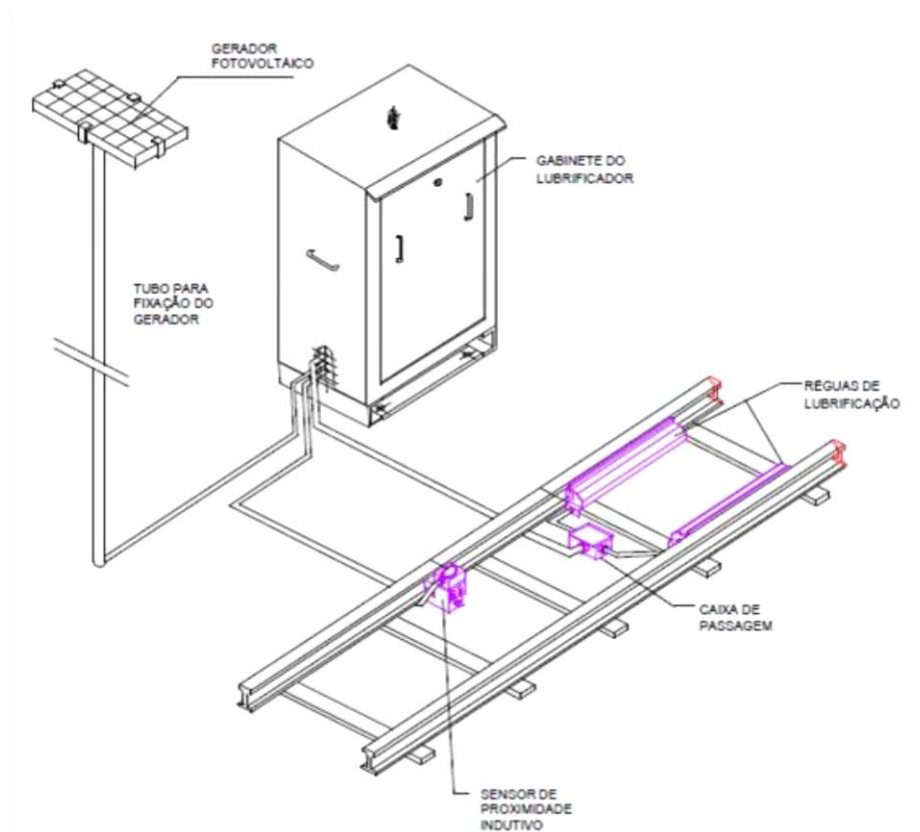


Figura 2.14 – Sistema de lubrificação roda / trilho fixo na via permanente [7]

2.2.2 Sistema móvel embarcado no trem

2.2.2.1 Sistema de lubrificação de friso de roda por bastão lubrificante

Neste sistema um bastão de lubrificante sólido é aplicado sobre a base do friso da roda, através de um aplicador fixo no truque do trem, que o mantém em contato continuamente por ação da força de uma mola.

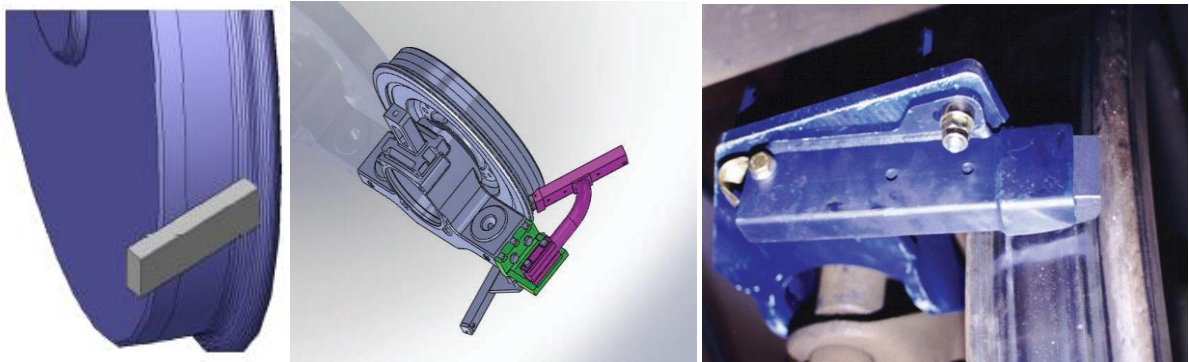


Figura 2.15 – Sistema de lubrificação de friso de roda por bastão lubrificante [8]

O lubrificante forma uma película sobre o friso da roda, que se transfere para o trilho quando ocorre o contato entre o friso e o trilho. A película depositada no trilho é transferida para os frisos das outras rodas que não possuem a aplicação direta do bastão lubrificante, propiciando dessa forma a lubrificação em todas as rodas, conforme demonstrado na Figura 2.16 e Figura 2.17.

A aplicação de lubrificante não é controlada de forma ativa, ainda que o sistema seja autorregulado. A taxa de transferência do lubrificante do bastão para o friso é inicialmente alta, devido alta rugosidade da superfície do friso. Com a diminuição da rugosidade, devido à formação da película lubrificante, a taxa de transferência do lubrificante também se reduz, limitando-se à reposição da película que se perde durante o uso.

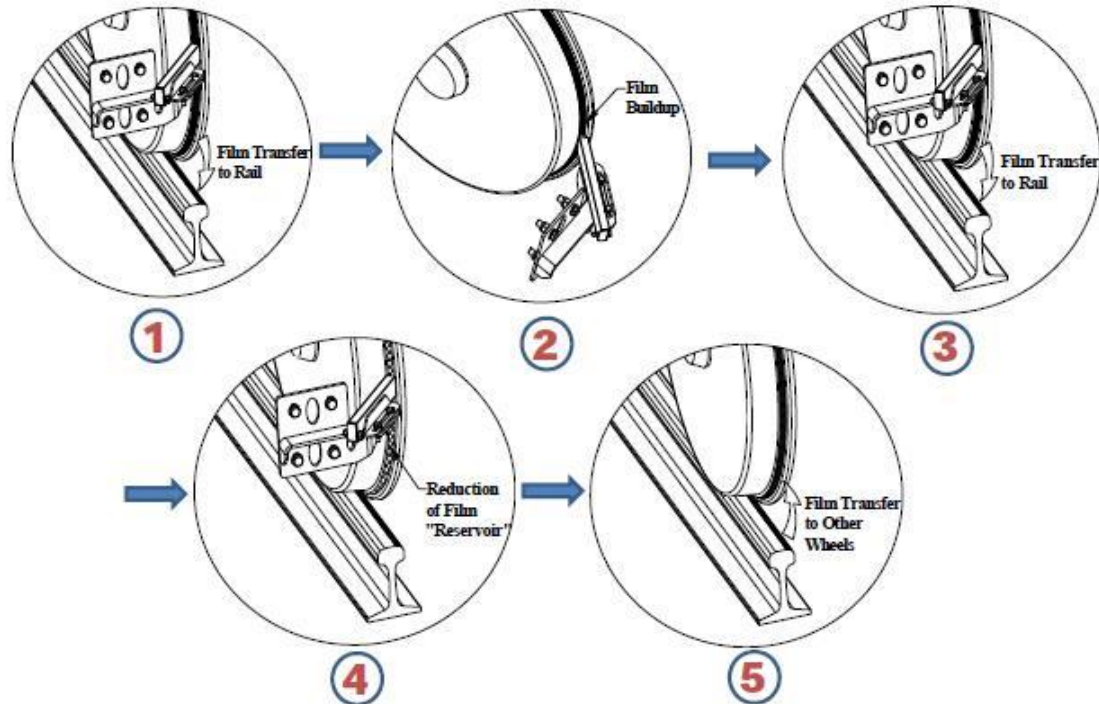


Figura 2.16 – Exemplo da transferência do lubrificante da roda com dispositivo de lubrificação para a roda sem dispositivo de lubrificação [9]



Friso com rugosidade alta
(sem película lubrificante)



Friso após formação da película lubrificante

Figura 2.17 – Detalhe da formação da película lubrificante no friso da roda [9]

2.2.2.2 Sistema de lubrificação de friso de roda por pulverização de lubrificante

Neste sistema o lubrificante é pulverizado na base do friso da roda através de um bico aspersor, impulsionado por ar comprimido.

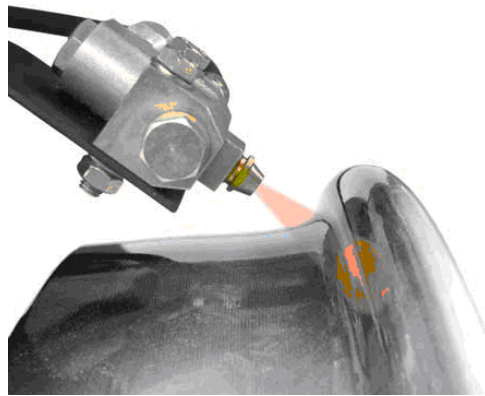


Figura 2.18 – Detalhe da pulverização de lubrificante no friso da roda [10]

O lubrificante pulverizado sobre o friso da primeira roda no sentido do deslocamento do trem é transferido para a face do boleto do trilho e assim, lubrifica os frisos das demais rodas.

O sistema é basicamente composto por um reservatório de lubrificante, um sistema de bombeamento, tubulação de transporte, válvulas de controle e atuação, bicos aspersores e sistema de controle. Existem ainda dois sistemas básicos de pulverização do lubrificante, o de linha simples e o de linha dupla.

No sistema de linha simples, o lubrificante é aplicado em uma tubulação de alimentação única junto com o ar comprimido, atomizado e transportado para o bico de aspersão e pulverizado no friso da roda.

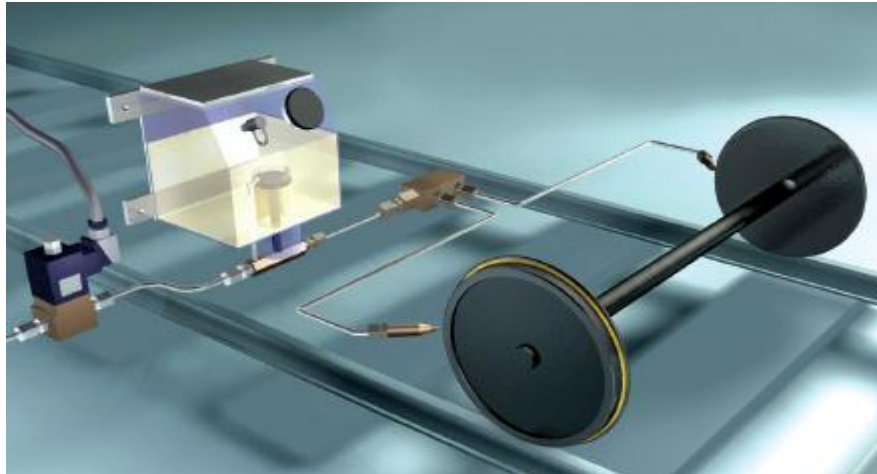


Figura 2.19 – Ilustração do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha simples [5]

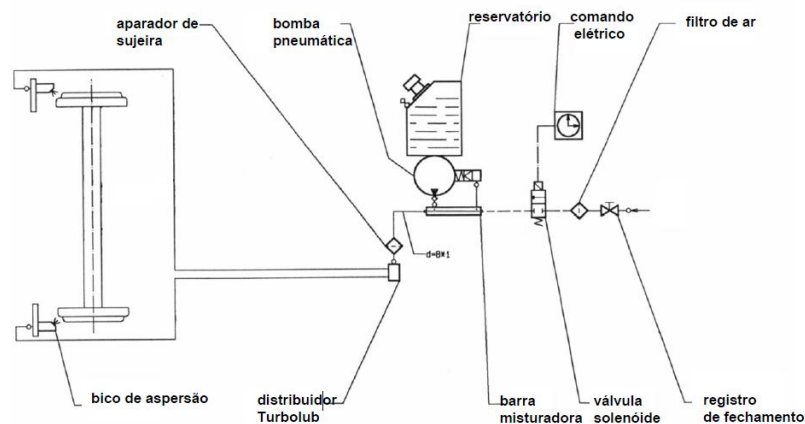


Figura 2.20 – Esquemático do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha simples [5]

No sistema de linha dupla, o lubrificante é aplicado em uma tubulação e o ar comprimido em outra. O reservatório de lubrificante pode ser do tipo pressurizado, atuando dessa forma como um sistema de bombeamento, ou acoplado a uma bomba pneumática para impulsionar o lubrificante até os bicos aspersores. Nestes casos, o ar comprimido, fornecido por outra linha e comandada por válvulas de controle, é injetado para pulverizar o lubrificante nos frisos das rodas.

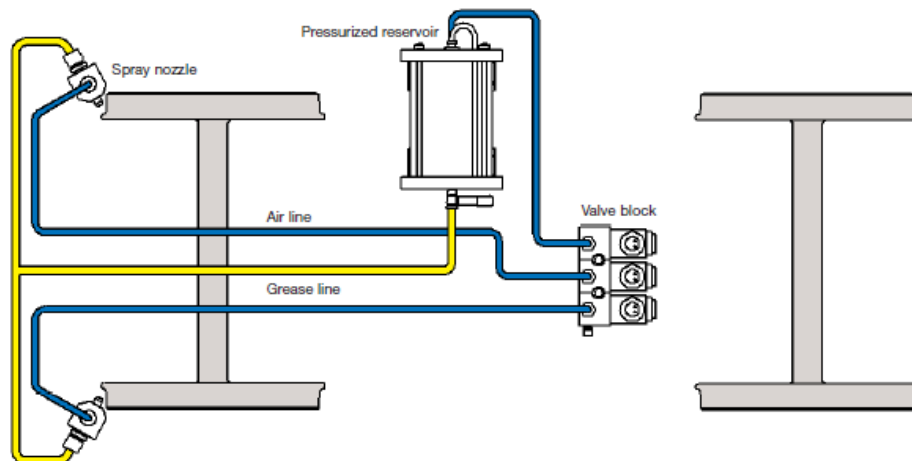


Figura 2.21 – Esquemático do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha dupla com reservatório de lubrificante pressurizado [12]

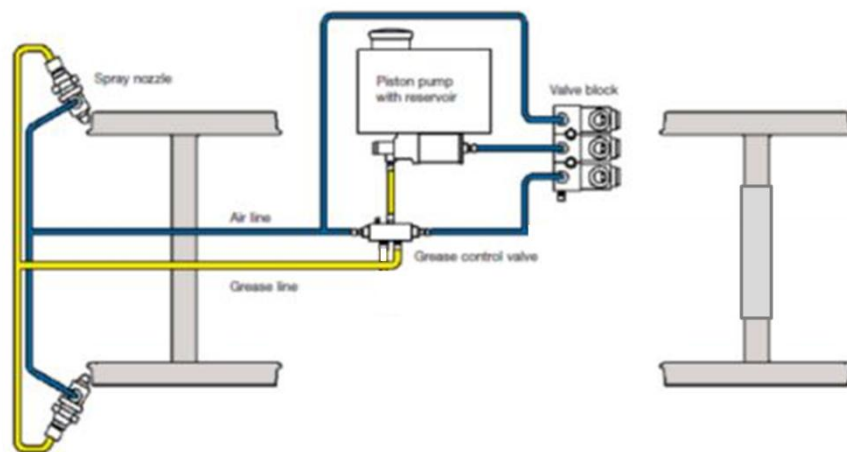


Figura 2.22 – Esquemático do sistema de lubrificação de friso de rodas por linha dupla com uso de bomba pneumática [12]

A característica comum dos sistemas de pulverização de lubrificante é a possibilidade de ajuste e regulação da quantidade de lubrificante aplicado em cada ciclo de pulverização. Outra característica a se destacar são as possibilidades de controle da aplicação da lubrificação, devido à utilização de válvulas eletropneumáticas para o acionamento da pulverização. Os principais sistemas de controle são os baseados nos seguintes parâmetros:

- Tempo: Aciona a pulverização em intervalos de tempo pré-determinados, bem como controla a duração da pulverização, independente da distancia percorrida ou de outros parâmetros;
- Distancia Percorrida: Aciona a pulverização em intervalos de distância percorrida pré-determinados, podendo ainda ser combinado a intervalos de tempo;
- Distancia Percorrida e Velocidade: Aciona a pulverização adotando o critério de distância percorrida porém, em função da velocidade, há alterações. A lubrificação diminui com o aumento da velocidade e pode chegar a ser suspensa quando a velocidade ultrapassar um valor pré-determinado. A redução da quantidade de lubrificante se dá através da redução do tempo de duração da pulverização;
- Sensor de Curva: Um sensor de curva é instalado no trem, podendo ser do tipo acelerômetro lateral ou tipo giroscópio. A lubrificação é aplicada quando o trem entra em uma curva e, neste caso, a aplicação poderá ocorrer apenas no friso que entra em contato com o trilho ou nos dois frisos do rodeiro;
- Sinal de GPS (*Global Positioning System*): Um GPS informa ao sistema de controle a posição do trem e a lubrificação é aplicada nas coordenadas pré-determinadas, correspondentes às curvas ao longo do trajeto.

Os sistemas de controle também podem combinar os parâmetros descritos acima, visando uma aplicação mais precisa do lubrificante, quanto ao local da aplicação e à quantidade necessária.

2.3 LUBRIFICANTES UTILIZADOS

2.3.1 Bastões lubrificantes

São em geral constituídos de um polímero sólido, que tem por função carregar os elementos lubrificantes sólidos. Preferencialmente são utilizados polímeros termoendurecíveis, que sob altas pressões e temperaturas advindas no contato roda / trilho se oxidam (“queimam”), ao invés de se fundir e espalhar o lubrificante sobre o boleto do trilho, prejudicando o contato com a roda e causando o seu

escorregamento (patinação). Os lubrificantes sólidos utilizados são aqueles que mantêm sua capacidade de lubrificação sob altas pressões decorrentes do contato roda / trilho, a exemplo do grafite, o nitreto de boro, do bissulfeto de molibdênio, do dissulfeto de tungstênio e do estearato de zinco.

2.3.2 Graxas

São utilizadas graxas de fácil biodegradabilidade (de acordo com a CEC L-33-A-93), livre de solventes, grau NLGI 00 ou NLGI 000, com boa bombeabilidade, a fim de prover bom escoamento pelas tubulações e pelos bicos aspersores, com alto poder de adesão sobre o metal, resistentes às altas pressões, com capacidade de formação de película lubrificante estável, anticorrosiva e resistente a água. Em geral são produzidas com base em ésteres sintéticos, espessantes inorgânicos e lubrificantes sólidos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 METODOLOGIA APLICADA

O estudo de caso proposto será dividido em duas etapas, envolvendo o mesmo trem circulando no mesmo trecho de via. A primeira etapa abordará os efeitos da falta de lubrificação dos frisos das rodas do trem e a segunda etapa, os efeitos após a implementação desse sistema.

No estudo utilizaremos um conjunto de dados reais extraídos dos registros da manutenção do trem, contendo detalhes observados durante as inspeções das suas rodas, ações administradas, datas e quilometragens percorrida pelo trem para cada evento realizado.

Os parâmetros observados durante as inspeções das rodas para avaliar seu estado de degradação são os já consagrados e amplamente utilizados no meio metroferroviário e estarão explicitados ao longo do desenvolvimento desse estudo de caso.

Por fim, para avaliarmos a eficiência da lubrificação dos frisos das rodas, será aplicada a análise sobre os intervalos entre reperfilamento das rodas encontrados nas duas etapas do estudo.

3.2 SELEÇÃO DO TREM

O trem selecionado para obtenção dos dados utilizados neste estudo de caso foi o Trem-Unidade Elétrico (TUE) número 1713, pertencente à frota de trens da série 1700, Figura 3.1, da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), cujas principais características estão relacionadas a seguir.



Figura 3.1 – Trem da série 1700 da CPTM [15]

O trem 1713 é uma unidade operacional formada por 4 carros, identificados, na sequência da formação do trem, pelos números 1713, A713, A714 e 1714.

Os trens da série 1700 foram fabricados no Brasil pela MAFERSA S.A. em 1988 e entraram em operação comercial em maio de 1987.

3.2.1 Formação do trem



Figura 3.2 – Formação do trem da série 1700 da CPTM [15]

Onde:

- MC e MC1 Carro motor com equipamentos de controle de tração, pantógrafos e cabine de comando.
- R Carro reboque com grupo moto-alternador, grupo moto-compressor, baterias e retificador.
- R1 Carro reboque com grupo moto-alternador, grupo moto-compressor e retificador.

3.2.2 Características operacionais do trem

Velocidade máxima	90 km/h
Capacidade de tração	15.920 kgf
Potência nominal em regime contínuo	2520 kW
Aceleração máxima	0,80 m/s ²
Desaceleração máxima em serviço	0,77 m/s ²
Desaceleração máxima em emergência	1,10 m/s ²

3.2.3 Características dimensionais do trem

Comprimento da unidade operacional	91.200 mm
Comprimento das caixas dos carros M1 ou M2	22.453 mm
Comprimento das caixas dos carros R1 ou R2	22.004 mm
Largura dos carros	3.300 mm
Altura do piso do salão ao topo do boleto do trilho	1.305 mm
Distância entre rodeiros do mesmo truque	2.692 mm
Distância entre centros de truques	15.000 mm
Diâmetro das rodas	965 mm
Raio mínimo de inscrição em curva	80.000 mm
Bitola	1.600 mm

3.2.4 Características da suspensão e freio do trem

Suspensão primária	Molas helicoidais
Suspensão secundária	Molas pneumáticas
Freio de atrito	Sapatos de freio / pista rolamento da roda

3.3 SISTEMA DE LUBRIFICADOR DE FRISO DE RODAS UTILIZADO

O sistema de lubrificação de friso de roda utilizado é o por pulverização de lubrificante de linha dupla com uso de bomba pneumática. O controle da pulverização é feito por tempo, ajustável, regulado para intervalos de 4 minutos, com 6 segundos de aplicação do lubrificante. O cronômetro que regula o intervalo de tempo entre as pulverizações do lubrificante nos frisos das rodas só funciona quando a velocidade do trem é superior a 6 km/h.

Esse sistema foi instalado sob a cabeceira com cabine do carro 1714, no primeiro rodeiro, ou seja, no conjunto formado pelo eixo e as rodas identificadas pelos números 1 e 8 (Figura 3.4).

O lubrificante utilizado durante o período desta avaliação foi o LUB F 00, fornecido pelo Grupo C+ Tecnologia.

3.4 PREPARAÇÃO DO TREM

Antes do início das atividades de acompanhamento e avaliação dos desgastes dos frisos das rodas, para atestar as boas condições operacionais do trem, foram realizados ajustes e aferições no sistema de freio, alinhados os blocos de freio, corrigidos os perfis de rolamento das rodas e executados testes de parada do trem para comprovar que as desacelerações em frenagem estavam de acordo com as especificadas.

Após a instalação do dispositivo de lubrificação de frisos de rodas, foram corrigidos apenas os perfis de rolamentos das rodas.

As sapatas de freio utilizadas durante o processo de avaliação do comportamento das rodas do trem foram previamente testadas e aprovadas (homologadas) para uso nos trens da CPTM.

3.4.1 Trem sem o sistema de lubrificação de frisos de rodas

3.4.1.1 Aferição do sistema de freio

A seguir, as tabelas com as pressões de ar comprimido do sistema de freio e com os esforços frenantes nas sapatas de freio, por carro, ajustadas para o início do processo de avaliação do comportamento das rodas no trem.

Tabela 3.1 – Pressões e esforços no sistema de freio dos carros motores do trem [13]

Carro Motor	Pressão (psi)		Esforço Sapata (kgf)	
	FMS (43 ± 2)	FE (58 ± 2)	FMS (1000 ± 50)	FE (1400 ± 70)
1713	41,2	54,1	1082	1471
1714	43,2	58,1	1081	1535

Onde: FMS – Freio máximo de serviço e FE – Freio de emergência

Tabela 3.2 – Pressões e esforços no sistema de freio dos carros reboques do trem [13]

Carro Reboque	Pressão (psi)		Esforço Sapata (kgf)	
	FMS (32 ± 2)	FE (42 ± 2)	FMS (720 ± 40)	FE (980 ± 50)
A713	31,9	39,8	774	957
A714	31,4	40,1	753	976

Onde: FMS – Freio máximo de serviço e FE – Freio de emergência

Comentários

Notamos que os esforços em FMS e FE aplicados nas sapatas de freio dos carros motores 1713 e 1714 e que os esforços em FMS aplicados nas sapatas do carro reboque A713 estão acima do valor especificados para o trem.

Como esta condição torna mais severa a agressão das sapatas às rodas, decidimos manter este trem como trem objeto do estudo e dar prosseguimento à preparação do mesmo.

3.4.1.2 Estado das rodas do trem

Para realização de testes de parada do trem

Carro 1713 – Mantidas as rodas que apresentavam trincas e desprendimentos.

Esses defeitos não comprometem o teste de parada.

As rodas permitem apenas mais uma reperfilagem.

As rodas apresentavam trincas e desprendimentos tipo A e B.

Carro A713 – Montadas rodas novas em 23/02/10.

Carro A714 – Montadas rodas novas em 30/01/10.

Carro 1714 – Montadas rodas novas em 08/03/10.

Para início do período de acompanhamento da degradação das rodas.

Carro 1713 – Em 07/05/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Carro A713 – Em 07/05/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Carro A714 – Em 07/05/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Carro 1714 – Em 07/05/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Comentários

Para iniciar o período de acompanhamento do comportamento das rodas, decidiu-se por reperfilar todas as rodas do trem, com o intuito de termos um padrão único de referência.

Constatou-se para os carros 1714, A714 e A713 que suas rodas não apresentavam, antes da reperfilagem, nenhum tipo de defeito provocado pelo contato sapata / roda.

3.4.1.3 Testes de parada do trem

Realizado em 23 de abril de 2010.

A instrumentação foi feita no carro motor 1714 com equipamentos para monitorar e registrar graficamente a velocidade, a aceleração, a pressão de ar no sistema de freio, a distância e o tempo percorrido pelo trem.

A seguir a tabela resumo com as desacelerações médias encontradas nos testes de parada do trem.

Tabela 3.3 – Desacelerações por frenagem do trem [13]

Tipo de frenagem	Desaceleração (m/s ²)	
	Especificada	Encontrada
FMS a 30 km/h	≤ 1,10	0,99
FE a 30 km/h	≤ 1,50	1,31
FMS a 90 km/h	0,77 a 0,87	0,83
FE a 90 km/h	1,05 a 1,19	1,10

Onde: FMS – Freio máximo de serviço e FE – Freio de emergência

Comentário

As desacelerações médias obtidas para as velocidades nominais de 30 e 90 km/h estão em conformidade com os valores especificados para o trem.

3.4.2 Trem com o sistema de lubrificação de frisos de rodas

3.4.2.1 Estado das rodas do trem

Para início do período de acompanhamento da degradação das rodas.

Carro 1713 – Em 31/07/10 foram trocadas todas as rodas do carro.

Em 26/08/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Carro A713 – Em 26/08/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Carro A714 – Em 26/08/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

Carro 1714 – Em 26/08/10 foram executadas a reperfilagem das rodas.

As rodas não apresentavam nenhum tipo de defeito.

3.5 SELEÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS VIAS

Todo o trabalho de observação para coleta de dados foi realizado no trem que circulou comercialmente somente nas vias principais do trecho denominado extensão da linha 7 (Rubi) da CPTM, compreendido entre as estações Francisco Morato e Jundiaí.

A Linha 7 atende a circulação entre as estações Luz e Jundiaí, passando pelos municípios de Caieiras, Franco da Rocha, Francisco Morato, Campo Limpo Paulista e Várzea Paulista, sendo estas duas últimas situadas fora da Região Metropolitana de São Paulo. O trajeto é feito em duas etapas, Luz-Francisco Morato e Francisco Morato-Jundiaí, com necessidade de troca de trens (baldeação) em Francisco Morato.

O trecho entre Francisco Morato e Jundiaí apresenta topografia muito acidentada (Serra dos Cristais), com núcleos urbanizados estruturados e localizados ao longo da ferrovia, caracterizados como bairros dormitórios, dada a inexistência de indústrias ou postos de serviços geradores de emprego na região. Tem como ligação rodoviária a SP-332, antiga via de acesso entre São Paulo e Campinas. O trajeto também passa por um túnel com duas galerias, situado entre as estações Francisco Morato e Botujuru.

O trecho entre Francisco Morato e Jundiaí é feito por um número menor de trens e portanto, envolve maiores intervalos entre trens. A partir de 2009, algumas viagens, fora dos horários de pico operacional e em caráter experimental,

passaram a ser realizadas num único trem, fazendo o percurso completo Luz-Jundiaí e Jundiaí-Luz [14].

Tabela 3.4 – Dados básicos operacionais da via [16]

LINHA 7 – RUBI		
TRECHO ENTRE FRANCISCO MORATO E JUNDIAÍ		
Extensão	21,523 km	
Quantidade de estações	5	
Tempo de percurso	25 min.	
Velocidade comercial	52 km/h	
Quantidade de viagens programadas	Dias úteis	191
	Sábado	183
	Domingo / Feriado	165
Quantidade de trens programados	Dias úteis	5
	Sábado	5
	Domingo / Feriado	4
Particularidade	As vias são compartilhadas com trens de carga	



Figura 3.3 – Desenvolvimento do trecho Francisco Morato-Jundiaí da Linha 7 (Rubi) [15]

3.6 PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

3.6.1 Identificação das rodas no trem

Às rodas, são atribuídos números de 1 a 8 para sua localização por tipo de carro do trem, conforme indicado na Figura 3.4.

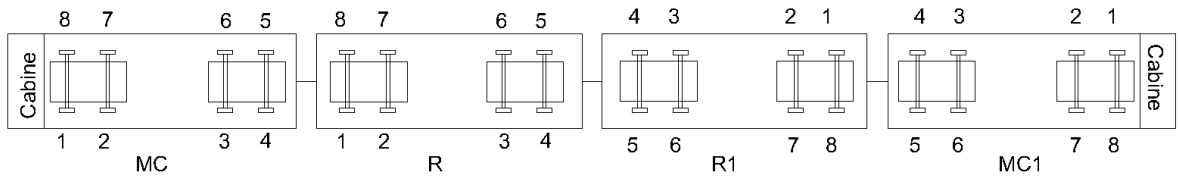


Figura 3.4 – Localização das rodas do trem

3.6.2 Perfil da roda

A CPTM utiliza nos seus trens de passageiros rodas padrão AAR (*Association of American Railroads*).

O perfil da roda está padronizado no documento AAR M-107 / 78 (pág. G29 fig. 10), a seguir reproduzido.

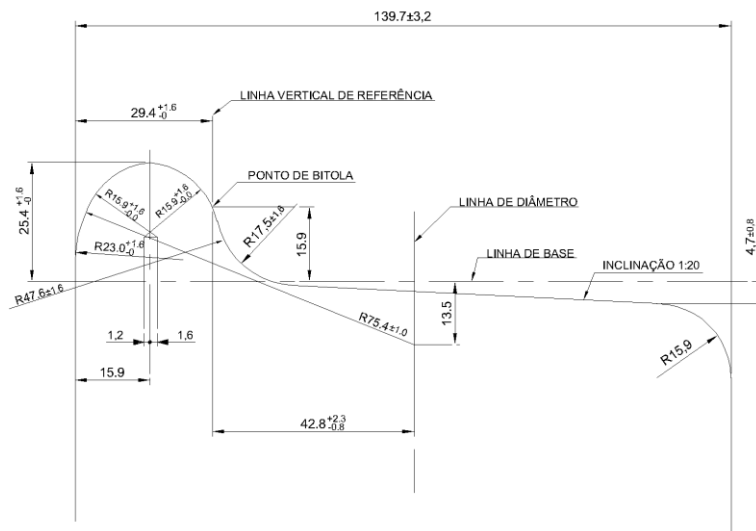


Figura 3.5 – Perfil da roda dos trens da CPTM

3.6.3 Classificação das degradações da roda

A classificação das degradações determina o grau de prioridade para efetuar tanto a usinagem das rodas, restaurando o seu perfil original, quanto à substituição do rodelo. A definição do grau de prioridade está associada ao tipo de degradação das rodas.

Tabela 3.5 – Classificação das degradações da roda [6]

• ATENÇÃO	O trem poderá circular comercialmente, porém as rodas deverão ser inspecionadas e avaliadas a cada recolhimento do trem para manutenção preventiva.
• PRIORIDADE	O trem poderá circular comercialmente e a usinagem das rodas ou a substituição do rodelo deverá ser programada e executada até o próximo recolhimento do trem para manutenção preventiva.
• URGENTE	O trem deverá ficar retido e não poderá entrar em operação comercial até que tenha as suas rodas usinadas ou seu rodelo substituído.

3.6.3.1 Trinca térmica no ombro da roda

A presença de fissuras no ombro da roda é classificada como URGENTE. [6]

3.6.3.2 Trinca térmica na superfície de rolamento da roda

A presença de fissuras na superfície de rolamento da roda é classificada como:

Tabela 3.6 – Classificação das trincas na superfície de rolamento da roda [6]

Trinca tipo	Comprimento (C) da fissura	Classificação para usinagem
A	$C \leq 5 \text{ mm}$	ATENÇÃO
B	$5 \text{ mm} < C < 10 \text{ mm}$	PRIORIDADE
C	$C \geq 10 \text{ mm}$	URGENTE

3.6.3.3 Desprendimento de material

Tabela 3.7 – Classificação do desprendimento de materiais na superfície de rolamento da roda [6]

Desprendimento tipo	Comprimento / largura (C) do desprendimento	Observações	Classificação para usinagem
A	$C < 10 \text{ mm}$	Único ou contínuo	ATENÇÃO
B	$10 \text{ mm} \leq C < 19 \text{ mm}$	Único ou contínuo	PRIORIDADE
C	$C \geq 19 \text{ mm}$	Contínuo	URGENTE
	$C \geq 25 \text{ mm}$	Único	

3.6.3.4 Travamento / Calo

Tabela 3.8 – Classificação do tipo de travamento / calo na superfície de rolamento da roda [6]

Travamento tipo	Comprimento (C) do travamento	Classificação para usinagem
A	$C \leq 13 \text{ mm}$	ATENÇÃO
B	$13 \text{ mm} < C \leq 25 \text{ mm}$	PRIORIDADE
C	$C > 25 \text{ mm}$	URGENTE

3.6.3.5 Cova

Tabela 3.9 – Classificação da cova na superfície de rolamento da roda [6]

Cova tipo	Comprimento (C) da cova	Classificação para usinagem
A	$C \leq 13 \text{ mm}$	ATENÇÃO
B	$13 \text{ mm} < C \leq 25 \text{ mm}$	PRIORIDADE
C	$C > 25 \text{ mm}$	URGENTE

3.6.3.6 Escoamento de material

Tabela 3.10 – Classificação do tipo de escoamento de material na superfície de rolamento da roda [6]

Escoamento tipo	Altura (E)	Classificação para usinagem
A	$E \leq 2 \text{ mm}$	ATENÇÃO
B	$2 \text{ mm} < E \leq 3 \text{ mm}$	PRIORIDADE
C	$E > 3 \text{ mm}$	URGENTE

3.6.3.7 Sulco circunferencial

A presença de um ou mais sulcos circunferenciais e com profundidade $\geq 2 \text{ mm}$ é classificada como URGENTE. [6]

3.6.3.8 Ondulação

A presença de ondulações com profundidade $\geq 2 \text{ mm}$ é classificada como URGENTE. [6]

3.6.3.9 Defeitos no friso

A presença de fissuras no friso da roda provocadas por trincas térmicas, a existência de defeito no friso com profundidade ≥ 2 mm ou a presença de friso vertical é classificada como URGENTE. [6]

Tabela 3.11 – Espessura do friso [6]

Espessura do friso (EF)	Classificação para usinagem
$21 \text{ mm} < EF \leq 24 \text{ mm}$	PRIORIDADE
$EF \leq 21 \text{ mm}$	URGENTE

Tabela 3.12 – Altura do friso [6]

Altura do friso (AF)	Classificação para usinagem
$38 \text{ mm} > AF \geq 35 \text{ mm}$	PRIORIDADE
$AF \geq 38 \text{ mm}$	URGENTE

3.6.3.10 Espessura do aro da roda

Tabela 3.13 – Espessura do aro da roda [6]

Espessura do aro (ARO)	Classificação para usinagem
$25 \text{ mm} < ARO \leq 32 \text{ mm}$	PRIORIDADE
$ARO \leq 25 \text{ mm}$	URGENTE

3.6.4 Desvio dimensional admissível entre rodas

Tabela 3.14 – Diferença de diâmetro entre rodas do trem [6]

TREM SÉRIE	TIPO DE CARRO	DIFERENÇA MÁXIMA ENTRE DIÂMETROS DE RODAS				
		MESMO RODEIRO	MESMO TRUQUE	TRUQUES DO MESMO CARRO	TRUQUES ENTRE CARROS DO TREM	
					MOTOR	REBOQUE
1700	MOTOR	2,0 mm	4,0 mm	4,0 mm	12,7 mm	25,0 mm
	REBOQUE	2,0 mm	6,0 mm	12,7 mm	25,0 mm	25,0 mm

4 RESULTADOS

4.1 QUADROS RESUMO COM OS RESULTADOS DO TREM SEM O SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE FRISO DAS RODAS

Tabela 4.1 – Período de avaliação do trem sem lubrificador de friso de rodas

AVALIAÇÃO	DATA	QUILOMETRAGEM (km)		
		CARROS 1713 e A713	CARROS A714 e 1714	PERCORRIDA PELO TREM
INÍCIO	07/05/2010	824.156	844.417	----
FIM	31/07/2010	883.518	903.779	59.362

Tabela 4.2 – Intervenções de manutenção nas rodas do trem sem lubrificador de friso de rodas

INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO NAS RODAS DO TREM					
NÚMERO	DATA	CARRO		AÇÃO	MOTIVO
		NÚMERO	QUILOM. (km)		
1	22/07/2010	1713	876.030	Nada feito	Constatado a necessidade de substituição dos rodeiros
		A713		Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Ajustar diferença entre diâmetros de rodas
		A714	896.291	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiro 2 com EF crítica
2	31/07/2010	1713	883.518	Trocado os rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiro 4 com EF crítica
		A713		Nada feito	Sem necessidade
		A714	903.779	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Nada feito	Sem necessidade

Tabela 4.3 – Resumo: Intervenções no trem sem lubrificador de friso de rodas

INTERVENÇÃO NÚMERO	QUILOMETRAGEM DO TREM (km)		CARRO			
	ACUMULADA	ENTRE INTERVENÇÕES	1713	A713	A714	1714
INÍCIO	844.417	---	---	---	---	---
1	896.291	51.874	---	51.874	---	51.874
2	903.779	7.488	59.362	---	---	---

Comentários

Notamos que em função da necessidade do reperfilamento das rodas 2 e 7, rodeiro 2 do carro 1714, foi necessário executar o reperfilamento das rodas de todos os rodeiros dos carros 1714 e A713 para manter o desvio dimensional admissível entre diâmetros das rodas citadas no item 3.6.4 e programar a substituição de todas as rodas do carro 1713, intervenção número 2, que em função dos desgastes das rodas 4 e 5, rodeiro 4, constatou-se que não era permitido a usinagem para reperfisamentos de suas rodas.

Podemos observar que as rodas que apresentam maior incidência de necessidade de reperfilagem estão situadas nos carros das extremidades do trem, carros 1713 e 1714, e podemos ainda considerar como 51.874 km o menor intervalo médio entre reperfilamento das rodas de um rodeiro para o trem sem sistema de lubrificador de friso de rodas.

Os 51.874 km correspondem à quilometragem percorrida pelo trem entre a data da intervenção número 1 e a data do início da avaliação.

4.2 QUADROS RESUMO COM OS RESULTADOS DO TREM COM O SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE FRISO DAS RODAS

Tabela 4.4 – Período de avaliação do trem com lubrificador de friso de rodas

AVALIAÇÃO	DATA	QUILOMETRAGEM (km)		
		CARROS 1713 e A713	CARROS A714 e 1714	PERCORRIDA PELO TREM
INÍCIO	25/09/2010	914.221	934.554	----
FIM	23/03/2012	1.259.912	1.285.777	345.691

Tabela 4.5 – Intervenções de manutenção nas rodas do trem com lubrificador de friso de rodas

INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO NAS RODAS DO TREM					
NÚMERO	DATA	CARRO		AÇÃO	MOTIVO
		NÚMERO	QUILOM. (km)		
1	14/12/2010	1713	970.291	Nada feito	Sem necessidade
		A713		Nada feito	Sem necessidade
		A714	991.942	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Troca do rodeiro 1	Rodeiro 1 com EF crítica
2	03/01/2011	1713	984.844	Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Ajustar diferença entre diâmetros de rodas
		A713		Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiro 2 com EF crítica
		A714	1.006.670	Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Ajustar diferença entre diâmetros de rodas
		1714		Nada feito	Sem necessidade
3	28/04/2011	1713	1.047.984	Nada feito	Sem necessidade
		A713		Nada feito	Sem necessidade
		A714	1.070.356	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Troca dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiro 3 com EF crítica
4	30/05/2011	1713	1.068.376	Nada feito	Sem necessidade
		A713		Troca dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiro 2 com EF crítica
		A714	1.090.465	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Nada feito	Sem necessidade
5	17/06/2011	1713	1.080.647	Nada feito	Sem necessidade
		A713		Nada feito	Sem necessidade
		A714	1.102.354	Troca dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiros 1 e 3 com EF crítica e Rodeiro 4 com DM crítico
		1714		Nada feito	Sem necessidade
6	30/06/2011	1713	1.088.647	Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiros 1 e 4 com DM crítico
		A713		Nada feito	Sem necessidade
		A714	1.110.473	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Nada feito	Sem necessidade

INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO NAS RODAS DO TREM

NÚMERO	DATA	CARRO		AÇÃO	MOTIVO
		NÚMERO	QUILOM. (km)		
7	25/08/2011	1713	1.126.837	Troca dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiros 2 e 4 com EF crítica
		A713		Nada feito	Sem necessidade
		A714	1.148.663	Nada feito	Sem necessidade
		1714		Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiros 1 e 3 com EF crítica
8	23/03/2012	1713	1.259.912	Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Ajustar diferenças entre diâmetros de rodas
		A713		Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3, e 4	Ajustar diferenças entre diâmetros de rodas
		A714	1.285.777	Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3, e 4	Ajustar diferenças entre diâmetros de rodas e Rodeiro 3 com DM crítico
		1714		Usinagem dos rodeiros 1, 2, 3 e 4	Rodeiros 1 e 3 com EF crítica

Tabela 4.6 – Resumo: Intervenções no trem com lubrificador de friso de rodas

INTERVENÇÃO NÚMERO	QUILOMETRAGEM DO TREM (km)		CARRO			
	ACUMULADA	ENTRE INTERVENÇÕES	1713	A713	A714	1714
INÍCIO	934.554	---	---	---	---	---
1	991.942	57.388	---	---	---	57.388
2	1.006.670	14.728	72.116	72.116	72.116	---
3	1.070.356	63.686	---	---	---	78.414
4	1.090.465	20.109	---	83.795	---	---
5	1.102.354	11.889	---	---	95.684	---
6	1.110.473	8.119	não considerado	---	---	---
7	1.148.663	38.190	141.993	---	---	78.307
8	1.285.777	137.114	137.114	195.312	183.423	137.114

Comentários

Podemos observar que as rodas que apresentam maior incidência de necessidade de reperfilagem continuam sendo as situadas nos carros das extremidades do trem, carros 1713 e 1714. Sendo assim, o foco do nosso estudo será voltado para a análise dos intervalos entre usinagem para reperfilamento das rodas desses carros.

Destacamos três cenários como os principais para estudo da determinação do menor intervalo médio entre reperfilamento das rodas de um rodeiro:

Cenário 1: Corresponde ao cenário pós implementação do sistema de lubrificação de friso de rodas embarcado no trem. Nesse cenário ainda não temos estabilidade no processo de transferência do lubrificante da primeira para a última roda do trem, conforme explicado no item 2.2.2. Cabe ressaltar, para o trem objeto do nosso estudo, que cada bico aspersor de lubrificante é responsável por lubrificar os frisos de 16 rodas, com distâncias aproximadas que variam de 2,7 m até 80,0 m.

Esse cenário estende-se entre as datas 25/09/2010 (início da avaliação) e 03/01/2011 (intervenção número 2) e o intervalo médio de reperfilamento das rodas de um rodeiro é de 72.116 km.

Cenário 2: Esse cenário estende-se entre as datas 03/01/2011 (intervenção número 2) e 25/08/2011 (intervenção número 7) e não foi considerado no estudo porque a intervenção número 6 foi necessária para corrigir o desprendimento de materiais na superfície de rolamento das rodas dos rodeiros 1 e 4 do carro 1713 e interrompeu o período de avaliação. Esse desprendimento de materiais foi um caso isolado e não foi possível identificar as suas causas.

Cenário 3: Corresponde ao período em que se atinge a estabilidade do processo de transferência do lubrificante da primeira para a última roda do trem. Esse cenário estende-se entre as datas 25/08/2011 (intervenção número 7) e 23/03/2012 (intervenção número 8) e o intervalo médio de reperfilamento das rodas de um rodeiro é de 137.114 km.

Com base nos cenários apresentados e discutidos acima, podemos considerar para o trem com sistema de lubrificador de friso de rodas que o menor intervalo médio entre reperfilamento das rodas de um rodeiro é 137.114 km.

4.3 RESULTADOS DAS INSPEÇÕES

As informações coletadas durante as inspeções, as medições e as intervenções de manutenção nas rodas do trem estão reproduzidas nas tabelas a seguir, considerando a legenda abaixo:

- ARO - Espessura do aro da roda
- AF - Altura do friso da roda
- EF - Espessura do friso da roda
- TRINCAS- Trincas térmicas na superfície de rolamento da roda
- DM - Desprendimento de materiais na superfície de rolamento da roda
- Sulcos - Sulco circunferencial na superfície de rolamento da roda
- Covas - Cova na superfície de rolamento da roda
- EM - Escoamento de materiais na superfície de rolamento da roda
- USIN - Roda usinada para recuperar o perfil da superfície de rolamento
- TROCA - Roda substituída por roda nova
- Célula na cor verde - Valor deixado após a usinagem ou troca do rodeiro
- Célula na cor amarela - Degradação da roda classificada como PRIORIDADE
- Célula na cor vermelha - Degradação da roda classificada como URGENTE
- Célula sem preenchimento - Nada constatado durante a inspeção
- Célula preenchida com “---” - Não avaliado

Tabela 4.7 – Trem sem lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro 1713

CARRO 1713											
RODA	DATA	07/05/2010	11/05/2010	21/05/2011	31/05/2010	11/06/2010	05/07/2010	14/07/2010	22/07/2010	29/07/2010	31/07/2010
	km	824.156	826.156	833.879	841.840	849.699	866.341	873.561	877.661	883.518	883.518
1	ARO	USIN	35	35	35	35	35	35	---	33	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	26
	EF	30	30	28	28	28	28	28	---	27	30
	TRINCAS					A	A	A	---	A	
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
2	ARO	USIN	35	35	35	35	35	35	---	33	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	26
	EF	30	30	27	27	27	25	25	---	24	30
	TRINCAS						A		---		
	DM			A	A	A		A	---	A	
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
3	ARO	USIN	35	35	35	35	35	35	---	33	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	26
	EF	30	30	28	28	28	26	26	---	25	30
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
4	ARO	USIN	35	33	33	33	33	33	---	32	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	28	26
	EF	30	30	28	28	28	26	26	---	25	30
	TRINCAS				A	A	A	A	---	A	
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
5	ARO	USIN	33	33	33	33	33	33	---	32	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	28	26
	EF	28	28	27	27	27	23	22	22	21	30
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
6	ARO	USIN	35	35	35	35	35	35	---	33	TROCA
	AF	26	26	26	26	26	26	26	---	27	26
	EF	29	29	27	27	27	25	25	---	23	30
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
7	ARO	USIN	33	33	33	33	33	33	---	32	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	26
	EF	29	29	27	27	27	25	25	---	24	30
	TRINCAS								---		
	DM			A	A	A		A	---	A	
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
8	ARO	USIN	33	33	33	33	33	33	---	32	TROCA
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	28	26
	EF	30	30	27	27	27	26	26	---	26	30
	TRINCAS					A	A	A	---	A	
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		

Tabela 4.9 – Trem sem lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A714

CARRO A714

RODA	DATA	07/05/2010	11/05/2010	21/05/2010	31/05/2010	11/06/2010	05/07/2010	14/07/2010	22/07/2010	29/07/2010	31/07/2010
	km	844.417	846.417	853.812	860.956	869.090	885.279	892.303	897.922	903.779	903.779
1	ARO	USIN	62	62	62	62	60	60	---	60	60
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	29	29	28	28	28	26	26	---	26	26
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
2	ARO	USIN	62	62	62	62	62	62	---	62	62
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	30	30	28	28	28	28	28	---	26	26
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
3	ARO	USIN	62	62	62	62	60	60	---	60	60
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	29	29	28	28	28	25	25	---	25	25
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
4	ARO	USIN	62	62	62	62	60	60	---	60	60
	AF	26	26	26	26	26	27	27	---	27	27
	EF	30	30	28	28	28	26	26	---	25	25
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
5	ARO	USIN	64	64	64	64	62	62	---	62	62
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	30	30	29	29	29	26	26	---	26	26
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
6	ARO	USIN	62	62	62	62	62	62	---	62	62
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	30	30	28	28	28	26	26	---	26	26
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
7	ARO	USIN	62	62	62	62	60	60	---	60	60
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	30	30	28	28	28	26	26	---	26	26
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		
8	ARO	USIN	62	62	62	62	62	62	---	62	62
	AF	26	26	27	27	27	27	27	---	27	27
	EF	30	30	28	28	28	26	26	---	25	25
	TRINCAS								---		
	DM								---		
	SULCOS								---		
	COVAS								---		
	EM								---		

Tabela 4.12 – Trem com lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A713

CARRO A713

RODA	DATA	25/09/2010	14/12/2010	14/12/2010	23/12/2010	03/01/2011	18/01/2011	24/02/2011	24/03/2011	13/04/2011	28/04/2011	06/05/2011	26/05/2011	30/05/2011	10/06/2011	17/06/2011	28/06/2011	30/06/2011	07/07/2011	12/08/2011	25/08/2011	25/08/2011	08/09/2011	26/09/2011	05/10/2011	28/10/2011	08/12/2011	09/01/2012	17/02/2012	22/03/2012	23/03/2012			
	km	914.221	970.291	970.291	977.060	984.844	991.276	1.015.590	1.034.799	1.047.438	1.047.984	1.053.665	1.066.971	1.068.376	1.068.376	1.080.459	1.088.647	1.088.647	1.093.883	1.099.083	1.126.837	1.126.837	1.134.254	1.146.307	1.151.682	1.165.181	1.191.882	1.210.316	1.237.439	1.259.912	1.259.912			
1	ARO	USIN	43	---	41	USIN	37	37	35	---	---	33	---	TROCA	65	---	65	---	65	64	---	---	64	64	64	64	64	61	61	---	USIN			
	AF	26	27	---	28	26	27	27	28	---	---	28	---	26	28	---	28	---	28	28	---	---	29	29	29	30	30	30	30	30	30	26		
	EF	30	26	---	26	30	28	27	26	---	---	26	---	30	29	---	28	---	27	27	---	---	27	27	27	27	27	27	27	27	27	30		
	TRINCAS		A	---	A				A	---	---	B	---			---		---			---	---		A	A	A	A	A	A	A				
	DM			---						---	---	C	---			---		---			---	---					B	B	B	B				
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
2	ARO	USIN	40	---	38	USIN	30	29	29	---	---	29	---	TROCA	65	---	67	---	67	67	---	---	67	67	67	65	65	65	65	---	USIN			
	AF	26	27	---	28	26	27	28	28	---	---	28	---	26	27	---	27	---	28	28	---	---	28	29	28	29	30	30	30	30	30	26		
	EF	30	26	---	26	30	28	27	26	---	---	24	24	30	29	---	29	---	28	27	---	---	26	27	26	27	27	27	27	27	27	30		
	TRINCAS		A	---	A			A	B	---	---	B	---			---		---			---	---					A	A	A	A				
	DM			---						---	---		---			---		---			---	---												
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
3	ARO	USIN	44	---	44	USIN	37	26	35	---	---	35	---	TROCA	65	---	65	---	65	65	---	---	64	65	64	64	64	63	61	---	USIN			
	AF	26	27	---	27	26	27	27	27	---	---	28	---	26	27	---	27	---	27	28	---	---	28	28	28	28	29	30	30	30	30	26		
	EF	30	26	---	26	30	28	27	26	---	---	26	---	30	29	---	28	---	27	26	---	---	25	25	25	25	25	25	24	24	24	30		
	TRINCAS			---						---	---		---			---		---			---	---					A	A	A	A				
	DM			---						---	---	C	---			---		---			---	---					B	B		A				
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
4	ARO	USIN	46	---	44	USIN	35	35	33	---	---	33	---	TROCA	65	---	67	---	67	65	---	---	65	65	65	65	65	65	63	---	USIN			
	AF	26	27	---	28	26	27	27	28	---	---	28	---	26	27	---	27	---	28	28	---	---	29	29	29	29	29	30	30	30	30	26		
	EF	30	24	---	25	30	27	26	26	---	---	25	---	30	29	---	28	---	27	25	---	---	25	26	25	25	24	24	24	24	30			
	TRINCAS			---	A					---	---		---			---		---			---	---	A	A	A	A	A	A	A	A				
	DM			---						---	---		---			---		---			---	---		B	B	B	B	B	B	B				
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
5	ARO	USIN	44	---	46	USIN	33	33	33	---	---	32	---	TROCA	65	---	67	---	67	65	---	---	65	65	65	65	65	65	65	65	---	USIN		
	AF	26	27	---	28	26	28	28	28	---	---	29	---	26	27	---	27	---	28	28	---	---	29	29	29	29	29	30	30	30	30	26		
	EF	30	25	---	25	30	27	25	24	24	24	24	24	30	29	---	28	---	27	26	---	---	26	27	26	26	26	26	26	26	30			
	TRINCAS			---	A			A	A	---	---	B	---			---		---			---	---	A	A	A	B	B	B	B	B				
	DM			---						---	---		---			---		---			---	---		B	B	B	B	B	B	B				
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
6	ARO	USIN	46	---	44	USIN	35	35	35	---	---	33	---	TROCA	65	---	65	---	65	64	---	---	64	64	64	68	62	61	61	---	USIN			
	AF	26	27	---	27	26	27	27	28	---	---	29	---	26	27	---	27	---	28	28	---	---	28	29	28	29	29	30	30	30	30	26		
	EF	30	28	---	28	30	27	26	26	---	---	25	---	30	30	---	29	---	28	28	---	---	27	28	27	26	28	28	28	28	30			
	TRINCAS		A	---	A			B	B	---	---	B	---			---		---			---	---	A	A	A	A	B	B	B	B				
	DM			---						---	---		---			---		---			---	---					B							
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
7	ARO	USIN	40	---	40	USIN	29	29	27	---	---	27	---	TROCA	65	---	67	---	67	67	---	---	67	65	67	65	65	65	63	---	USIN			
	AF	26	27	---	28	26	27	27	28	---	---	29	---	26	27	---	27	---	28	28	---	---	29	30	29	30	30	30	30	30	30	26		
	EF	30	23	---	22	30	24	24	23	23	23	21	21	30	29	---	29	---	27	27	---	---	26	27	26	27	27	27	27	27	30			
	TRINCAS			---				A	B	---	---	B	---			---		---			---	---				A	A	A	A					
	DM			---						---	---		---			---		---			---	---												
	SULCOS			---						---	---		---			---		---			---	---												
	COVAS			---						---	---		---			---		---			---	---												
8	ARO	USIN	41	---	41	USIN	33	33	32	---	---	32	---	TROCA	65	---	65	---	65	65	---	---	65	65	65	65	64	61	61	---	USIN			
	AF	26	27	---	28	26	27	27	27	---	---	29	---	26	27	---	27	---	28	28	---	---	29	29	29	30	30	30	30	30	30	26		
	EF	30	25	---	25	30	27	25	25	---	---	23	23	30	30	---	29	---	28	27	---	---	27	28	27	27	27	27	27	27	30			
	TRINCAS			---				A	B	---	---	B	---			---		---			---													

Tabela 4.13 – Trem com lubrificador de frisos de rodas: inspeção das rodas do carro A714

CARRO A714

RODA	DATA	25/09/2010	14/12/2010	14/12/2010	23/12/2010	03/01/2011	18/01/2011	24/02/2011	24/03/2011	13/04/2011	28/04/2011	06/05/2011	26/05/2011	30/05/2011	10/06/2011	17/06/2011	28/06/2011	30/06/2011	07/07/2011	12/08/2011	25/08/2012	25/08/2011	08/09/2011	26/09/2011	05/10/2011	28/10/2011	08/12/2011	09/01/2012	17/02/2012	22/03/2012	23/03/2012	
	km	934.554	991.942	991.942	977.060	1.006.670	1.013.699	1.037.796	1.057.111	1.069.810	1.070.356	1.075.947	1.075.947	1.090.465	1.090.465	1.102.354	1.110.473	1.110.473	1.115.451	1.120.651	1.148.663	1.148.663	1.157.748	1.170.801	1.176.622	1.191.247	1.217.948	1.236.270	1.259.265	1.285.777	1.285.777	
1	ARO	USIN	52	---	52	USIN	41	41	41	---	---	40	---	---	40	TROCA	68	---	68	68	---	---	68	68	68	68	67	66	66	---	USIN	
	AF	26	27	---	28	26	27	28	28	---	---	28	---	---	28	26	27	---	27	28	---	---	28	29	28	29	29	29	30	29	26	
	EF	30	25	---	25	30	28	27	26	---	---	26	---	---	25	30	29	---	28	27	---	---	27	27	27	26	26	26	26	25	30	
	TRINCAS		B	---	A			A	B	---	---	B	---	---	B					B				B	A	B	A	A	A	A		
	DM			---					B	---	---	B	---	---	B										B	A	B	A	A	A		
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---		---	---	A																	
2	ARO	USIN	52	---	52	USIN	48	48	48	---	---	46	---	---	46	TROCA	65	---	65	65	---	---	65	65	65	64	64	63	63	---	USIN	
	AF	26	27	---	27	26	27	27	27	---	---	28	---	---	28	26	27	---	27	28	---	---	28	29	28	29	30	30	30	30	26	
	EF	30	27	---	27	30	28	27	27	---	---	26	---	---	26	30	29	---	29	27	---	---	27	28	27	27	26	26	26	26	30	
	TRINCAS		A	---	B			A	---	---		B	---	---	B									A	A	A	A	A	A	A		
	DM			---						---	---		---	---	B																	
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---		---	---	A																	
3	ARO	USIN	51	---	49	USIN	40	40	38	---	---	38	---	---	38	TROCA	67	---	67	67	---	---	67	67	67	65	65	65	65	---	USIN	
	AF	26	27	---	28	26	27	27	27	---	---	29	---	---	29	26	27	---	27	27	---	---	28	28	28	28	29	29	29	29	29	26
	EF	30	25	---	24	30	28	25	24	24	24	22	22	22	22	30	29	---	29	27	---	---	27	27	27	27	27	27	24	30		
	TRINCAS			---				B	B	---	---	B	---	---	B								B	B	B	B	B	B	B	B		
	DM			---						---	---		---	---																		
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---	A	---	---																		
4	ARO	USIN	51	---	52	USIN	41	41	40	---	---	40	---	---	40	TROCA	65	---	65	65	---	---	65	65	65	64	64	63	63	---	USIN	
	AF	26	27	---	27	26	27	27	27	---	---	28	---	---	29	26	27	---	27	27	---	---	28	28	28	29	29	29	29	29	29	26
	EF	30	26	---	26	30	26	25	25	---	---	24	24	24	24	30	29	---	28	27	---	---	27	28	27	27	27	27	27	26	30	
	TRINCAS		A	---	A			A	A	---	---	B	---	---	B									A	A	A	A	A	A	A		
	DM			---						---	---	B	---	---	B																	
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---		---	---														A	A			
5	ARO	USIN	52	---	52	USIN	41	41	41	---	---	40	---	---	40	TROCA	65	---	65	65	---	---	65	65	65	64	64	63	63	---	USIN	
	AF	26	27	---	27	26	28	28	28	---	---	29	---	---	29	26	27	---	27	27	---	---	28	28	28	29	29	29	29	29	29	26
	EF	30	26	---	25	30	29	28	28	---	---	26	---	---	26	30	28	---	27	26	---	---	26	26	26	26	26	26	25	30		
	TRINCAS		A	---	B			A	B	---	---	B	---	---	B											A	A	A	A			
	DM			---						---	---	C	C	C	C																	
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---		---	---	A													A	A			
6	ARO	USIN	49	---	49	USIN	41	40	40	---	---	38	---	---	38	TROCA	68	---	67	67	---	---	65	67	65	67	67	65	65	---	USIN	
	AF	26	26	---	28	26	27	27	28	---	---	28	---	---	29	26	27	---	27	28	---	---	28	29	28	29	29	29	29	29	29	26
	EF	30	25	---	25	30	27	26	25	---	---	24	24	24	24	30	29	---	28	26	---	---	26	26	26	26	25	25	25	26	30	
	TRINCAS		B	---	A			A	B	---	---	B	---	---	B										A	A	A	A				
	DM			---						---	---		---	---	B																	
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---		---	---																		
7	ARO	USIN	52	---	51	USIN	46	46	44	---	---	44	---	---	44	TROCA	65	---	65	65	---	---	64	64	64	64	64	61	61	---	USIN	
	AF	26	27	---	27	26	27	28	28	---	---	29	---	---	29	26	27	---	27	27	---	---	28	28	28	29	29	30	30	30	26	
	EF	30	26	---	26	30	27	26	26	---	---	26	---	---	26	30	29	---	27	27	---	---	26	27	26	26	25	25	25	25	30	
	TRINCAS			---			A	A	B	---	---	B	---	---	B										A	A	A	A	A			
	DM			---						---	---		---	---																		
	SULCOS			---						---	---		---	---																		
	COVAS			---						---	---		---	---																		
	EM			---						---	---	B	---	---	B																	
8	ARO	USIN	52																													

4.4 CONSUMO DE LUBRIFICANTE

Tabela 4.15 – Consumo de lubrificante [17]

PERÍODO		QUILOMETRAGEM PERCORRIDA PELO TREM (km)	CONSUMO	
INICIO	FIM		(kg)	(<i>g</i> /1000 km)
25/09/2010	03/04/12	354.041	10,9	30,8

4.5 PREÇOS ENVOLVIDOS

4.5.1 Usinagem de rodeiro

Tabela 4.16 – Preço para usinagem de rodeiro [18]

USINAGEM DE RODEIRO	TEMPO MÉDIO (mim)	PREÇO CPTM (R\$)
	40	1.256,20

Base setembro / 2012

4.5.2 Compra e instalação do dispositivo de lubrificação de friso das rodas

Tabela 4.17 – Preço do sistema de lubrificação de friso de rodas [19]

DISPOSITIVO DE LUBRIFICAÇÃO EMBARCADO NO TREM	PREÇO UNITÁRIO (R\$)
	29.683,00 (*)

Base setembro / 2012

(*) Atualizado financeiramente pela variação do IPC-FIPE entre jan. 2010 e set. 2012

4.5.3 Preço do lubrificante de friso das rodas

Tabela 4.18 – Preço do lubrificante de friso de rodas [20]

CONSUMO DE LUBRIFICANTE (<i>g</i> /1000 <i>km</i>)	PREÇO	
	UNITÁRIO (<i>R</i> \$/1000 <i>g</i>)	UNITÁRIO (<i>R</i> \$/1000 <i>km</i>)
30,8	3,20	0,10

Base setembro / 2012

5 CONCLUSÃO

Os dados levantados e compilados no item 4 - Resultados demonstram que nos trens circulando em vias acidentadas, com diversos trechos sinuosos, o reperfilamento das rodas é motivado pela degradação de seus frisos, independente do uso ou não de sistemas para lubrificação de frisos de rodas. A degradação do friso superou a degradação promovida nas pistas de rolamento das rodas provocada pela agressão das sapatas de freio durante a frenagem do trem.

Demonstram também que os rodeiros com maior incidência de reperfilamento das rodas estão nos carros das extremidades do trem e que 8 rodeiros são usinados a cada intervenção de reperfilamento.

Contudo, podemos concluir que a utilização de lubrificador de frisos de roda embarcados no trem aumenta a periodicidade entre reperfisamentos de rodas e, por consequência, a sua vida útil em aproximadamente 165%, conforme observamos a seguir:

Tabela 5.1 – Intervalo entre reperfilamento de rodas

TREM CIRCULANDO	QUILOMETRAGEM ENTRE REPERFILAMENTO DAS RODAS
Sem lubrificador de frisos de rodas	51.874 km
Com lubrificador de frisos de rodas	137.114 km

Considerando:

- (a) apenas os custos diretos apresentados no item 4.5
- | | |
|--|-----------------------------|
| Usinagem de rodeiro - | R\$ 1.256,20 (Tabela 4.16) |
| Lubrificante para cada 1.000 km - | R\$ 0,10 (Tabela 4.18) |
| Aquisição e montagem do lubrificador de frisos de roda - | R\$ 29.683,00 (Tabela 4.17) |
- (b) que um trem percorre em média 13.000 km por mês

Temos:

Tabela 5.2 – Valor gasto entre reperfilamento de rodas

REPERFILAMENTO DE RODEIROS		VALOR GASTO ENTRE REPERFILAMENTOS (R\$)		
Lubrificador de frisos de roda	Quilometragem (km)	por Rodeiro	por Rodeiro a cada 1000 km	por Trem a cada 1000 km
SEM	51.874	1.256,20	24,22	193,73
COM	137.114	1.256,21	9,16	73,29

Deste modo, percebemos que com a economia gerada entre o valor gasto em reperfilamento de rodeiros de um trem com sistema de lubrificador de frisos de roda e de um trem sem esse sistema, valor da ordem R\$ 121,00 a cada 1000 km rodados pelo trem, a sua implementação é recomendada. O investimento no sistema de lubrificador de frisos de roda é recuperado após aproximadamente 245.000 km rodados pelo trem, equivalentes a 19 meses de seu uso, tornando economicamente atrativa sua aplicação.

6 REFERÊNCIAS

- [1] SISDELLI, A. **Estudo de Desgastes de Rodas e suas Consequências no Material Rodante e na Via Permanente**: Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia, Academia MRS. Rio de Janeiro, 2006.
- [2] EADIE, D. T.; HUI, R. **Wheel Life Extension With On-Board Solid Stick Flange Lubrication**. Orlando, Florida, October, 2004: 14th International Wheelset Congress.
- [3] FERREIRA, J. G. **Rodeiro de 33" = 838,2 mm eixo de 6" x 8" como mancais de rolamento, bitola 1,60 m. com rodas de aço fundido ou laminado**. São Paulo: RFFSA / CPTM, 1982. Desenho, CPTM AD0143-6.
- [4] FRANCESCHINI, E. O. et al. **MF 011 – Sistemas Mecânicos II – Trabalho de avaliação final**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Curso Tecnologia Metro-Ferroviária, 2006, Trabalho de avaliação final.
- [5] GRUPO C+ TECNOLOGIA, **Frisolub®**: sistema embarcado para lubrificação de frisos. Disponível em: <[http://www.ctecnologia.com.br/ Download/folder_rebes.pdf](http://www.ctecnologia.com.br/Download/folder_rebes.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2012.
- [6] SOUZA, L. C. M. et al. **Inspeção em rodas dos TUEs e locomotivas da CPTM**. São Paulo: CPTM, 2011, 17 p. Procedimento de Manutenção, CPTM AD4061-0, revisão D.
- [7] EXIMPORT. **Lubrificador de Trilhos e Flanges de Roda - 30.330**. São Paulo, jul. 07. Disponível em: <<http://www.eximport.com.br>>. Acesso em: 01 out. 2012.
- [8] LB FOSTER RAIL TECHNOLOGIES LTD. **KELSAN® Wheel Flange Lubrication**. Disponível em: <[http://www.portecrail.co.uk/ pdf/LBF-Kelsan-WFL.pdf](http://www.portecrail.co.uk/pdf/LBF-Kelsan-WFL.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2012.
- [9] ZYTEC EUROPA S. L., DIPOSTEL. **KELSAN® train mounted solid stick friction control technology**. Disponível em: <<http://www.zytec.es>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

- [10] VOGEL AG, Willy. **Evolution 2008-4**: Wheel flange lubrication for railways systems. SKF, 2008. Disponível em: < <http://evolution.skf.com/wheel-flange-lubrication-for-railway-systems/> >. Acesso em: 01 out. 2012.
- [11] GRUPO C+ TECNOLOGIA, **Frisolub®**: sistema embarcado para lubrificação de frisos. Disponível em: <[http://www.ctecnologia.com.br/ Download/folder_rebes.pdf](http://www.ctecnologia.com.br/Download/folder_rebes.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2012.
- [12] VOGEL AG, Willy. Centralized Lubrication for Wheel+Rail: Standard systems and special solutions based on decades of experience – 1-8092-US. SKF, 2006. Disponível em: <<http://www.grupovei.pt/upload/Roda-carril124952cd.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2012.
- [13] SANTOS, F. dos; COUTINHO, M. V. R. **Aumento da frequência de reperfilamento dos rodéis dos trens das séries 1100 e 1700 provocado pela agressão das sapatas de freio ADANTECH SF 405 C ADE 200 (cód. CPTM 014365) fornecidas pelo contrato nº 004109106100**. São Paulo: CPTM, 2010, 26 p. Relatório Técnico, CPTM AS8273-6, revisão Ø.
- [14] Licença Creative Commons Atribuição - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não Adaptada (“CC BY-SA”), licenciamento do conteúdo. **Linha 7 da CPTM**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Linha_7_da_CPTM>. Acesso em: 28 out. 2012.
- [15] CPTM. Portal da Engenharia de Manutenção. **Frota: Características – Série 1700**. Disponível em (intranet CPTM): <<http://webcptm/Operacao/frota/trens/p1700L.jpg>>. Acesso em: 28 out. 2012.
- [16] BRASIL. Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. **Dados básicos operacionais: Linha 7 – Rubi**. São Paulo: CPTM, set. 2012.
- [17] SOUZA, L. C. M. **Controle de abastecimento de lubrificadores de friso 1700** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <luiz.souza@cptm.sp.gov.br> em 09 out. 2012.
- [18] BRASIL. Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. **Contrato 809573101100**: prestação de serviços de manutenção preventiva e corretiva em 10 trens-unidade série 3000, planilha de medição, despesas mensais. São Paulo: CPTM, out. 2012.

- [19] BIS, F. C. **Contrato de Instalação de lubrificadores de friso da serie 1700** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <fernando.bis@cptm.sp.gov.br> em 04 de out. 2012
- [20] BRASIL. Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. **Histórico do produto (investig)**: 070314. São Paulo: CPTM, set. 2012.