



1. APRESENTAÇÃO

A Comissão de Estudos Metroferroviários do Rio de Janeiro é um grupo de profissionais representantes de empresas de transporte ferroviário sediadas no Rio de Janeiro, Instituições de ensino, Associações de profissionais e de consultores independentes com o objetivo de promover o desenvolvimento do setor e elaborar material técnico relacionado ao transporte sobre trilhos.

Este estudo técnico foi conduzido e elaborado pelo Coordenador Engº Renan dos Santos Moreira, com a participação dos seguintes integrantes:

Integrantes	Empresa Representada
Renan Moreira (Coordenador)	MRS
Ernesto Roberto	ABRAMAN
Helio Suêvo	AENFER
Henrique Carou	Metrô Rio
Joao Bosco Setti	Consultor
Cláudio Nascimento	CENTRAL
Luiz Cláudio	CENTRAL

Parceiros	Empresa Representada
Felipe Vidon	CH VIDON
Jonathan Spindola	CH VIDON
Francisco Bastos	CH VIDON

2. OBJETIVOS

O trabalho em questão visa:

- Levantar informações técnicas básicas do sistema roda-trilho dos bondes de Santa Teresa para apoiar o arcabouço técnico da Comissão;
- Realizar medições básicas e preliminares de coeficiente de atrito e desgastes de trilhos;
- Analisar os potenciais pontos de melhoria e propor soluções;
- Auxiliar tecnicamente a operadora na elaboração de um termo de referência ou escopo técnico para contratação de posteriores empresas especializadas ou consultorias para dar andamento no referido estudo, além de implantação de tecnologias ou equipamentos necessários.



Figura 1: O bonde de Santa Teresa

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O atrito incontrolado na interface roda-trilho resulta ou contribui para:

- Desgaste excessivo de trilhos e rodas;
- Alto consumo de energia;
- Excesso de ruído nas curvas;
- Potenciais problemas relacionados à segurança (descarilhamento)
- Corrugação e RCF (Rolling Contact Fatigue);
- Problemas de tração e adesão.

A diferença na taxa de desgaste (e, portanto, na vida útil das rodas) entre uma pobre e boa lubrificação pode chegar a um fator de 20 ou mais.

O Gerenciamento do Atrito é a manipulação intencional das propriedades de cisalhamento do terceiro corpo. O terceiro corpo é a camada microscópica existente no contato da roda e do trilho, esta camada que é responsável pelo atrito. Dependendo dos materiais que formam o terceiro corpo, o atrito irá variar. Um coeficiente de atrito (COF) elevado irá aumentar o desgaste e um COF baixo irá acarretar problemas de frenagem e tração.

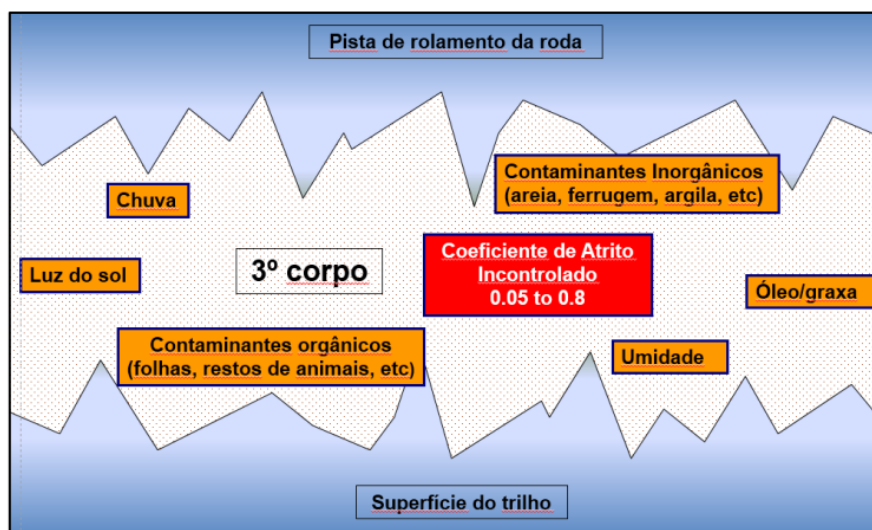


Figura 2: O Terceiro Corpo na interface roda-trilho

O atrito entre a roda e o trilho representa uma significativa perda de energia, adicionando resistência ao movimento que gera um adicional esforço trator. A perda de energia é manifestada no consumo de combustível, no desgaste e nas superfícies de contato da roda e do trilho.

A adição de um lubrificante para um contato sólido-sólido irá reduzir significativamente o atrito.

Existem duas áreas distintas no contato roda-trilho onde as características friccionais devem ser controladas de formas e maneiras distintas.

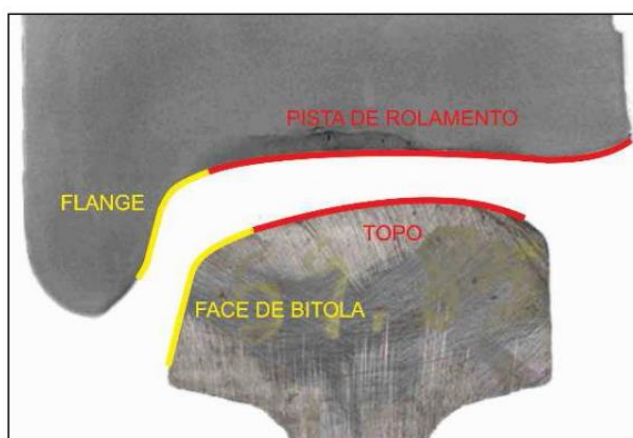


Figura 3: Áreas distintas no contato roda-trilho.

Para gerenciar o atrito em diferentes regiões do trilho são adotados produtos diferentes, sendo utilizado lubrificantes na face de bitola, objetivando reduzir o coeficiente de atrito nessa região (menor que 0,25) e modificador de atrito no topo do trilho, para manter o coeficiente de atrito entre 0,30 e 0,40.



Figura 4: Coeficientes de atrito ideais

Os lubrificantes são produzidos para manter o COF mais baixo possível, enquanto os modificadores de atrito são produzidos para manter o COF numa determinada faixa (0,3 - 0,4).

Os níveis de atrito recomendado pela (AREMA, 2009) são:

- Face de bitola em curvas: $\mu < 0,20$
- Topo do trilho em tangentes e curvas: 0,30 - 0,40
- A diferença máxima entre o topo do trilho esquerdo e direito: $\mu < 0,1$

O trilho é considerado sem lubrificação ou seco quando o $\mu \geq 0,35$. Quando o trilho apresenta $0,25 < \mu < 0,30$, apesar de estar acima da recomendação da AREMA, algum benefício quanto a vida útil ainda é alcançada.

4. METODOLOGIA

Para realização das medições, foram utilizados os instrumentos: Tribômetro e Miniprof Rail, ambos cedidos e operados pela empresa CH VIDON, a qual se prontificou a colaborar com o referido estudo sem custos ou despesas para a operadora ou Comissão.

O tribômetro fabricado pela L.B. Foster / Salient Systems, mede a força de atrito nos trilhos e automaticamente calcula o COF. O propósito principal do equipamento é avaliar a lubrificação de trilhos ferroviários. O equipamento calcula o coeficiente de atrito numa escala de 0,1 a 0,75 μ , com resolução de 0,01 μ .



Figura 4: Tribômetro portátil utilizado nas medições



Figura 5: Medição do coeficiente de atrito na pêra do terminal dos Bondes

Para coleta de perfis de trilhos foi utilizado o perfilômetro digital Miniprof Rail, que é uma ferramenta de alta precisão, leve e portátil a fim de monitorar e analisar o desgaste dos trilhos. Utilizado acoplado a uma haste telescópica que liga ao trilho oposto, ele mede o perfil do trilho e a bitola em uma única medição em menos de 5 segundos. Possui uma precisão melhor que: $\pm 11 \mu\text{m}$.



Figura 5: Perfilômetro digital de trilhos Miniprof Rail.



Figura 5: Medição de desgaste na curva da pêra do terminal dos Bondes

O Miniprof trabalha com dois desgastes básicos do perfil de trilho, W1 e W2, o primeiro é o desgaste vertical medido no eixo central transversal do topo do trilho e o segundo é o desgaste lateral medido no ponto de bitola do trilho (14 mm abaixo do topo do trilho), conforme figura a seguir.

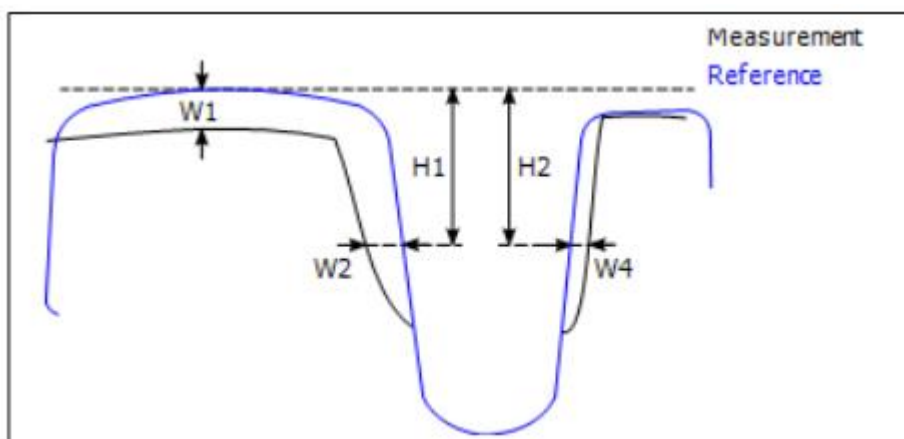


Figura 6: Parâmetros de controle de desgaste do Miniprof Rail.

5. DADOS TÉCNICOS RELEVANTES

- Km de Via: 10,5 km
- Bitola: 1.100 mm
- Tipo de trilho: Bilabiado (grooved). Perfil 41GPU
- Dureza do trilho: 260 HBW
- Frota de bondes: 8 bondes
- Carga por eixo: 5,4 ton./ eixo
- Capacidade: 32 passageiros
- Dureza da roda: 300 HB
- Montagem da roda: Aro montado por interferência (0,38 mm)
- Lubrificação roda-trilho nas vias operacionais: Não há.

Obs.: Há eventual lubrificação manual com graxa na pêra do terminal



6. RESULTADOS

A imagem abaixo resume os resultados amostrais dos valores de coeficiente de atrito medidos na curva da pêra do terminal dos bondes, realizado em 17 de agosto de 2022.

Posição KM	COF												Data	Condições Climáticas	Observações
	GF			Méd.	TOR Ext.			Méd.	TOR int.			Méd.			
CURVA PERA	0,31	0,33	0,28	0,31	0,60	0,62	0,60	0,61	0,65	0,59	0,63	0,62	17/08/2022	SOL	CURVA COM LUBRIFICAÇÃO MANUAL

Figura 8: Tabela de resultados de medição de coeficiente de atrito

A tabela abaixo mostra os resultados de medição de desgaste no perfil dos trilhos:

Date	Time	Position	Rail	W1 [mm]	W2 [mm]	W4 [mm]
17/08/2022	15:07:45	Pera 0+010 P1	High	0,486	0,229	0,000
17/08/2022	15:08:22	Pera 0+010 P1	low	0,046	0,000	0,095
17/08/2022	15:09:38	Pera 0+010 P2	high	0,005	0,173	0,192
17/08/2022	15:10:51	Pera 0+010 P2	low	0,951	0,476	0,000
17/08/2022	15:11:29	Pera 0+010 P3	High	0,192	0,000	0,011
17/08/2022	15:12:02	Pera 0+010 P3	low	0,159	0,168	0,048
17/08/2022	15:41:54	Curva Menor Raio	high	0,428	0,066	0,000
17/08/2022	15:41:16	Curva Menor Raio	low	0,314	0,444	1,260

Tabela 1: Tabela de resultados de medição de desgastes

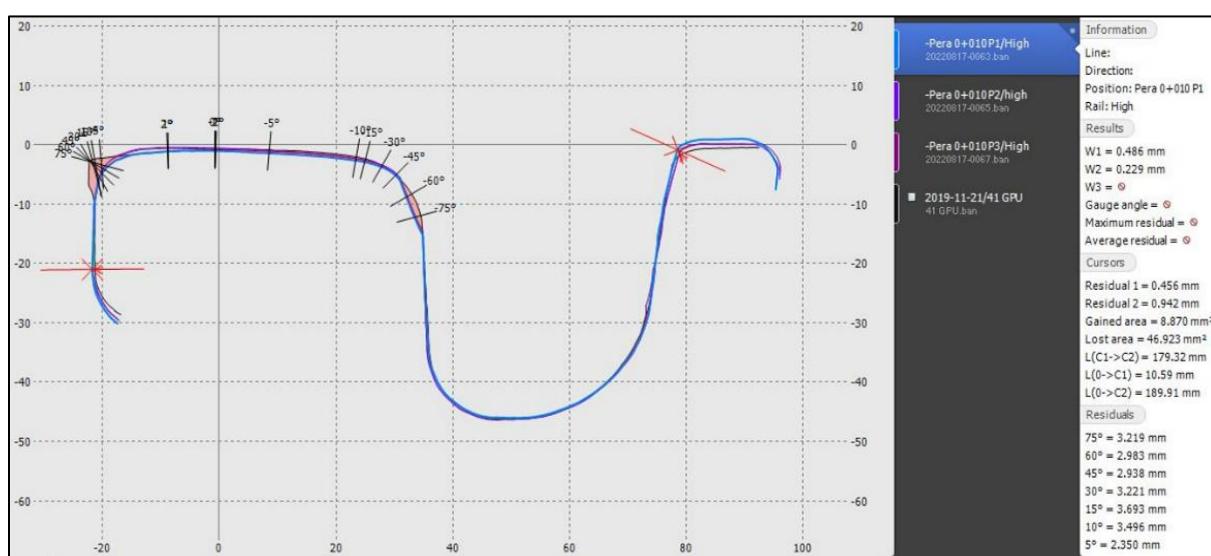


Figura 9: Desenho do perfil gerado pelo Miniprof do trilho externo da pêra do terminal

7. CONCLUSÕES

A partir das medições realizadas em campo, visitas e reuniões com o corpo técnico da CENTRAL, pôde-se perceber e concluir algumas informações relevantes, conforme listado a seguir:

- É sugerido a aquisição de um instrumento (mecânico ou à laser, a ser definido pela operadora) para medição dos desgastes dos perfis de rodas dos rodeiros dos bondes, criando uma rotina específica de acompanhamento a fim de evitar que os desgastes alcancem limites de segurança.
- É sugerido a implantação de rotinas de inspeção preditivas nos trilhos de rolamento, como: ultrassom, desgastes e geometria de via. Estas rotinas podem ser realizadas por equipe interna ou por contratação de empresas de Engenharia especializadas.
- Os valores de coeficiente de atrito encontrados para a face de bitola (GF) estão acima dos valores recomendados pela AREMA e internacionalmente aplicados nas ferrovias.
- O valor médio de coeficiente de atrito na curva tirada como amostra foi de 0,31, onde o valor máximo recomendado é de 0,25. O valor máximo medido chegou a 0,33.

A condição de COF, entre os resultados negativos listados no item 3 (Fundamentação Teórica), proporciona principalmente o aumento potencial de risco de descarrilamento por subida de roda e alta força lateral. Sugere-se que seja dada continuidade no estudo através de contratação de serviço de consultoria de Engenharia especializada para definição da melhor solução de lubrificação no contato roda-trilho, pois atualmente o sistema não possui nenhum equipamento ou sistema de lubrificação, tanto embarcado quanto fixo na via. Preliminarmente, a Comissão entende que o melhor método é a lubrificação aplicada nas rodas por bastões sólidos, pois reduz-se o risco de migração de lubrificantes líquidos ou pastosos para o topo do boleto dos trilhos, onde afetariam perigosamente as frenagens dos bondes.

Quanto à medição dos desgastes, percebe-se que os valores encontrados ainda são baixos e abaixo de 1 mm, tanto em desgastes laterais quanto verticais no topo do boleto. Sugere-se que se implante uma rotina de medição (com frequência a ser determinada pela operadora) dos desgastes para garantir o controle e gerenciamento dos resultados ao longo dos anos. Estas medições podem ser feitas de forma manual e localizada, ou ainda melhor e mais eficiente, de forma corrida através de carros controle ou trolleys facilmente encontrados no mercado de ferramentas e equipamentos especiais para o segmento ferroviário. O limite usual para o desgaste lateral deste tipo de perfil de trilho é de 13 mm, devendo-se efetuar ações de correção antes de alcançá-lo, como o preenchimento de desgastes com solgagem por arco submerso (método GCR – *gauge corner restoration*) ou com a troca completa da barra de trilho.



COMISSÃO DE ESTUDOS METROFERROVIÁRIOS DO RIO DE JANEIRO
GRUPO DE ESTUDOS: ANÁLISE DO CONTATO RODA-TRILHO NOS BONDES DE SANTA TERESA - FEVEREIRO / 2023

A Comissão de Estudos Metroferroviários do Rio de Janeiro espera ter colaborado para a melhoria do referido processo de manutenção na operadora CENTRAL, dos Bondes de Santa Teresa, assim como promovido o desenvolvimento do setor metroferroviário do nosso estado, se colocando à disposição para eventuais dúvidas ou colaborações.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AREMA - American Railway Engineering and Maintenance of Way Association, Vol. 4. USA. 2010.
- [2] Eadie, D. T.; Bovey, E.; Kalousek, J.; The role of friction control in effective management of the wheel / rail interface, The Railway Technology Conference, 2002.
- [3] EN 14811 - Railway applications - Track - Special Purpose Rail - Grooved Rails and Associated Construction Profiles, 2019.
- [4] Jost, H. P., 1990, "Tribology-origin and future", Wear, v.136, pp.1-17.
- [5] Kalousek, J. – The Magic Wear Rate / Railway track and structure. 1997.
- [6] Kato, K. Adachi, K., 2001, "Wear Mechanisms", MODERN TRIBOLOGY HANDBOOK, Ed. CRC Press LLC Vol.2. Cap 22.
- [7] Magalhães, P.C.B. Contato Roda Trilho. 2000.
- [8] R. Moreira; L.A.S. Lopes. Gerenciamento do Atrito no VLT Carioca. ANP Trilhos – 27ª Semana de Tecnologia Ferroviária. São Paulo, 2020.
- [9] Sroba, Oldknow, Dashko, & Roney. Canadian Pacific Railway 100% Friction Management Strategy, 2005.
- [10] Viana T.G, Tressia G., Sinatora A. Sliding Wear of Rail and Wheel Steels: Effect of Hardness Ratio, Normal Load and Lubrification. Tribology in Industry. Vol.42, 2020.
- [11] Vidon, F. Fundamentos do Gerenciamento do Atrito. Trabalho final do curso de especialização em Engenharia de Transporte de Carga do IME. Rio de Janeiro, 2012.
- [12] Vidon, F; Spinola, J. Avaliação do Coeficiente de Atrito na Interface Roda Trilho – Preparado para VLT Carioca, 2019.
- [13] Vidon, F; Spinola, J. Monitoramento de Desgaste de Trilhos – Preparado para VLT Carioca, 2019.