

## Os benefícios do Gerenciamento do Atrito na MRS Logística

Paulo Gonzaga<sup>1\*</sup>, Samantha Vidigal<sup>1</sup>, João Carlos Serpa<sup>1</sup>, José Geraldo<sup>2</sup>, Felipe O. Vidon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenharia da Malha MRS Logística S.A., Av. Brasil 2001, 36060-010, Juiz de Fora – MG

<sup>2</sup>Engenharia de Transportes, MRS Logística S.A., Av. Brasil 2001, 36060-010, Juiz de Fora - MG

<sup>3</sup>CH.Vidon Especialistas, Serviços e Equipamentos Ferroviários, Rua Halfeld 744/301, 36010-003, Juiz de Fora – MG

E-mail: paulo.gonzaga@mrs.com.br, samantha.vidigal@mrs.com.br,  
joão.serpa@mrs.com.br, fov@chvidon.com.br

### RESUMO

A MRS Logística foi a pioneira na implantação do Gerenciamento do Atrito no Brasil. Em 2007 o projeto foi iniciado através de uma parceria entre MRS, NRC-CSTT, LB Foster Rail Technologies e CH.Vidon objetivando avaliar os benefícios da otimização do gerenciamento do atrito e avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um trecho para testes. Em 2011 o projeto foi expandido na malha da MRS com a instalação de equipamentos em larga escala. O projeto final envolveu a instalação de 158 equipamentos, sendo 93 lubrificadores da face de bitola do trilho e 65 aplicadores de modificador de atrito no topo do trilho com a finalidade de proteger aproximadamente 880km dos principais corredores da MRS. O principal objetivo de um projeto de controle do atrito é estender a vida útil dos trilhos, a qual extingue-se principalmente devido ao desgaste excessivo ou falhas de fadigas de contato (RCF). Através do controle do atrito é possível reduzir as taxas de desgaste dos trilhos causadas pelo tráfego constante e prevenir a ocorrência de RCF sob altas cargas por eixo.

O trilho é o principal e mais caro ativo da via permanente, portanto, a redução do consumo deste ativo impacta significativamente no custo operacional de uma ferrovia. Apesar de o principal objetivo ser a extensão da vida útil dos trilhos, há vários outros benefícios associados direta e indiretamente como a redução das forças laterais e relação L/V, redução de ruído, redução de desgaste de rodas, aumento do intervalo entre ciclos de esmerilhamento, redução da energia perdida devido à resistência de rolamento e curvatura, aumento da segurança operacional da ferrovia entre outros já divulgados na indústria ferroviária mundial.

Os benefícios mensurados na MRS até a presente data serão abordados no decorrer deste trabalho, no qual estará descrito sobre o impacto da implantação do projeto na substituição de trilhos e necessidade de esmerilhamento. Os ganhos vão além da via permanente, o material rodante também é beneficiado com a redução do desgaste de rodas, a operação de trens com a redução do consumo de combustível e maior disponibilidade da via além do aumento na segurança da via e conseqüentemente a diminuição de acidentes. Portanto, várias áreas da empresa são beneficiadas proporcionando ganhos agregados, visto que, a viabilidade financeira da implantação de um projeto como este, está concentrada principalmente no aumento da vida útil dos trilhos.

**Palavras-Chaves:** Via Permanente, gerenciamento do atrito, lubrificador wayside e modificador de atrito.

## 1. Introdução

A MRS Logística S. A. administra uma extensão de 1.643 Km de malha ferroviária a qual está situada entre grandes centros que são as regiões de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. O minério de ferro é a principal carga.

Visando manter padrões de referência internacional a MRS Logística S.A investe em tecnologias que otimizem sua operação e que gerem uma melhor gestão de seus ativos por exemplo, o gerenciamento do atrito que traz ganhos devido o aumento da vida útil dos trilhos.

O controle do atrito é um ponto chave para ferrovias que desejam controlar os custos relacionados ao desgaste de rodas, desgaste de trilhos, defeitos de RCF, degradação da superestrutura da via permanente devido às altas forças laterais e o consumo de combustível das locomotivas.

A taxa de desgaste pode variar até 20 vezes quando o gerenciamento do atrito é utilizado. Coeficientes de atrito elevados podem levar a descarrilamentos por subida de roda e elevados ruídos quando veículos ferroviários inscrevem em uma curva.

Os três principais “pilares” para um efetivo gerenciamento da interface roda-trilho são: adequada seleção e manutenção de perfis de rodas e trilhos; seleção adequada quanto a características metalúrgicas dos trilhos e controle efetivo do atrito entre trilho (face/topo do boleto) e roda (friso/bandagem). Focar apenas em um dos três pilares frequentemente leva a práticas inadequadas ou não ideais. Cotidianamente o controle do atrito é aparentemente o menos avançado dos três “pilares”.

## 2. Gerenciamento do Atrito

A lubrificação de trilhos é uma tecnologia que vem sendo utilizada por muitos anos. Durante quase 100 anos de desenvolvimento muita coisa mudou. Os obsoletos lubrificadores mecânicos foram substituídos por modernos lubrificadores eletrônicos com preciso controle de aplicação de lubrificante e monitoramento remoto. Foi introduzido o termo Gerenciamento do Atrito que é a manipulação intencional das propriedades friccionais do terceiro corpo. Além da evolução da composição dos lubrificantes, um novo produto com conceito inovador foi desenvolvido: o modificador de atrito.

O terceiro corpo é a camada microscópica existente no contato entre o trilho e a roda. Ela sempre estará presente, e é formada por uma grande quantidade de materiais heterogêneos por exemplo contaminantes climáticos: folhas, água e gelo, contaminantes operacionais: britas do lastro, areia, óleos lubrificantes e contaminantes provenientes de produtos transportados como cereais, minério de ferro e carvão. O coeficiente de atrito (COF) no contato roda-trilho será resultado da combinação destes materiais. Por exemplo, em dias chuvosos, uma grande quantidade de água poderá abaixar COF, assim como materiais orgânicos enquanto óxidos de ferro ( $F_2O_3$ ) elevam o COF.

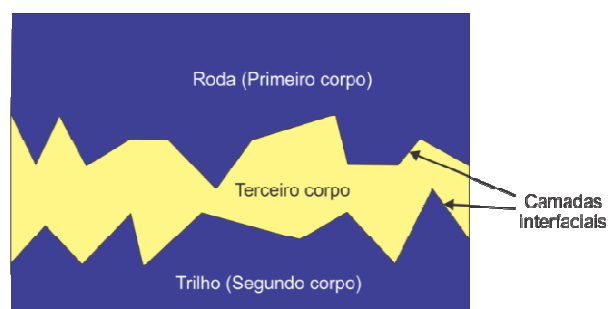


Figura 1: Representação esquemática do terceiro corpo.

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

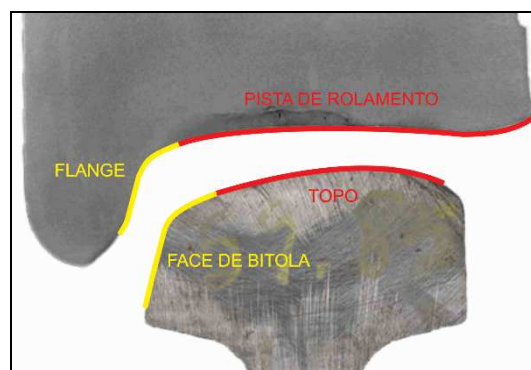


Figura 2: Regiões e materiais distintos.

Para gerenciar o atrito em diferentes regiões do trilho são adotados produtos diferentes, sendo utilizado lubrificantes tipo graxa na face de bitola, objetivando manter 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 3: Coeficientes de atritos ideais. (KALOUSEK, 1997)

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 verdadeiros modificadores de atrito não são produzidos a base de óleo ou graxa, atuam como lubrificante quando a roda está rodando, porém provocam um aumento do atrito quando deslizamentos ocorrem, esta característica é conhecida com fricção positiva.

A tecnologia de gerenciamento do atrito pode ser o controle do COF somente na face de bitola, somente no topo ou o controle simultâneo do COF na face de bitola e topo do trilho. O uso da tecnologia nas diferentes regiões do boleto do trilho depende entre outros fatores, do modo de falha dos trilhos.

As principais características para o programa de gerenciamento do atrito são a implantação do programa em uma considerável extensão de linha, manter efetividade na lubrificação na face de bitola e controle do atrito no topo do trilho, monitoramento do desempenho dos equipamentos no campo, manter um sistema de manutenção (preventiva e corretiva) e abastecimento dos equipamentos e por último, acompanhar se os resultados em campo estão dentro do esperado.

### 3. Projeto

Em 2003 a Engenharia da MRS Logística S.A. durante o congresso do IHHA no Texas, teve o primeiro contato com a tecnologia do gerenciamento do atrito, contratando assim uma consultoria internacional que de 2004 a 2010 fez o levantamento de informações em campo, estudando as melhores práticas de manutenção, perfil de trilhos e realizando testes pertinentes a lubrificação de trilhos nas regiões da malha da MRS Logística S.A que no princípio foram a Serra do Mar (estado do Rio de Janeiro) e Paraopeba (estado de

Minas Gerais).

Em 2011, após a validação dos resultados obtidos nos trechos testes e extrapolação destes para a realização de estudos de viabilidade para implantação do projeto em outras regiões os primeiros equipamentos foram instalados, sendo destinados primeiramente as regiões da Serra do Mar e Paraopeba, contemplando depois a região da Frente Norte e finalizando em 2014 com a implantação da Lubrificação na Linha do Centro.

Durante a implantação do projeto, foi monitorado os resultados nos primeiros corredores contemplados no processo, e diagnosticou a necessidade de melhorias com a instalação mais alguns equipamentos e a upgrade de equipamentos de linha singela para linha dupla, já que alguns trechos foram duplicados no decorrer do projeto.

Os primeiros seis lubrificadores foram hidráulicos, uma tecnologia já obsoleta para os dias atuais, foram atualizados para eletrônicos.



Figura 4: Lubrificador eletrônico Protector IV LB Foster.



Figura 5: Aplicador TOR Protector IV LB Foster.

### 3.1. Território e equipamentos

O mapa da malha ferroviária concedida a MRS Logística possui a seguinte configuração.



Figura 6: Mapa da Malha da MRS Logística.

A implantação do Gerenciamento do Atrito na MRS Logística S.A contempla quatro trechos acima destacados: Serra do Mar, Linha do Centro, Ramal do Paraopeba e Frente Norte. Tais regiões correspondem a quase 50% da malha e foram selecionadas devido à sua densidade de curvas com raios apertados (menor que 350 metros) e moderados (entre 350 metros e 700 metros) entre outros fatores que contribuem para o aumento do desgaste de trilhos.

Tabela1: Equipamentos portrechos

Região	Lubes	Aplicadores TOR	Extensão (Km)
Serra do Mar	16	19	154
Paraopeba	18	34	238
Linha do Centro	53	0	378
Frente Norte	6	12	110
Total	93	65	880

O Ramal do Paraopeba possui 55% do trecho formado por curvas de raio apertado. Na Serra do Mar 16% do trecho são curvas de raios apertados e 16% curvas de raios moderados, é o único trecho duplicado da malha, na linha 1 trafegam trens carregados enquanto na linha 2 trafegam trens vazios. Na

linha 1 existem lubrificadores e aplicadores TOR, já na linha 2 foi adotado apenas a lubrificação. Já a Frente Norte da Ferrovia do Aço possui uma densidade de curvas de 12% da extensão total da região. A Linha do Centro que foi o último corredor contemplado no projeto possui 37% da extensão de curvas com raios apertados e 18% de curvas moderadas. Como a Linha do Centro possui o tráfego de trens vazios, consequentemente baixa carga por eixo e o maior modo de falha dos trilhos é a perda de área lateral, não foi instalado aplicadores TOR nessa região.

O espaçamento médio dos lubrificadores eletrônicos na Linha do Centro é de aproximadamente 8 km, sendo possível encontrar equipamentos com até 12 km de distância um do outro, sem prejudicar a qualidade da lubrificação na região. Isto se deve ao sentido do tráfego na região que é constantemente unidirecional. Já na Serra do Mar o espaçamento dos lubrificadores é de 7 km enquanto que dos aplicadores TOR são de 4 Km, espaçamento semelhante ao que ocorre no Paraopeba também para os aplicadores TOR, entretanto os lubrificadores nesta região possuem espaçamento de 6 Km. Apesar da Linha 1 da Serra do Mar ter tráfego unidirecional, o fato de ser uma longa rampa descendente, faz que o aquecimento das rodas queima o lubrificante nela existente, por esse motivo em trechos com essas características o espaçamento é diferente. Na Frente Norte o espaçamento dos Lubrificadores é de aproximadamente 5 Km enquanto que dos aplicadores TOR é de 2 Km. É importante ressaltar que não existe um espaçamento padrão entre os equipamentos, para cada trecho é necessária uma análise para definição do mesmo.

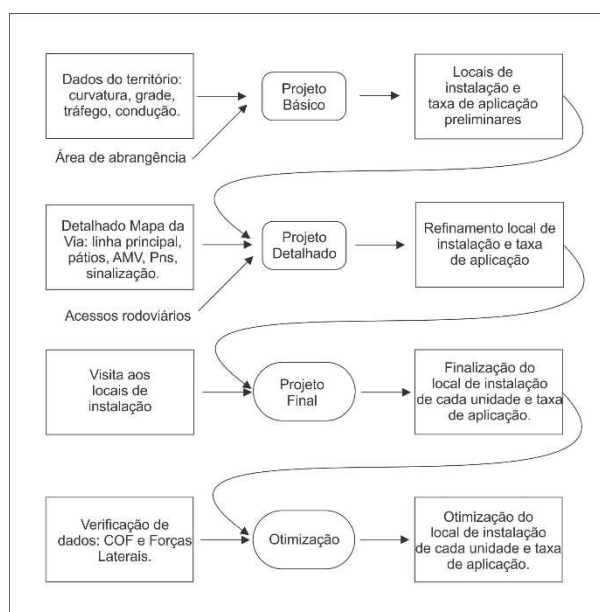
### 3.2. Equipe

Mantenedores exclusivos para a função foram contratados para manter e abastecer os equipamentos. Uma manutenção efetiva de um grande número de lubrificadores e aplicadores de modificador de atrito é um desafio que muitas ferrovias ao redor do mundo não conseguem vencer completamente. Manter as unidades em operação não é uma atividade de alta prioridade para uma coordenação de via envolvida em outras atividades de manutenção, pois o impacto das unidades fora de serviço não é imediato, ou talvez não será refletido nas metas da coordenação.

### 3.3. Fases do Projeto

A concepção do projeto começou com o estudo dos trechos da MRS Logística S.A e o planejamento de instalação de acordo com o fluxograma abaixo. As premissas de instalação foram a instalação dos equipamentos em trecho tangente e de preferência com acesso rodoviário, desde que os requisitos técnicos sejam cumpridos.

Tabela 2: Fluxograma do projeto de Gerenciamento do Atrito.



A implantação do projeto iniciou pelas instalações dos equipamentos no trecho da Serra do Mar (linha 1) que contemplava 31 equipamentos entre lubrificadores e aplicadores TOR e no Paraopeba com um total de 35 equipamentos entre Lubrificadores eletrônicos e Aplicadores TOR. Porém, com o monitoramento do desgaste de trilhos nas regiões lubrificadas foi verificada a necessidade de ampliar a extensão do trecho lubrificado através da aquisição de mais equipamento, isto se deve ao tráfego nestas regiões ser bidirecional e na Serra do Mar ainda terem rampas com inclinação elevada o que proporciona a queima da graxa sendo necessário reduzir o espaçamento dos equipamentos na região sem prejudicar a aderência dos trens.

A complementação da lubrificação nessas regiões ocorreu em 2014 com a

instalação de mais 3 Lubrificadores eletrônicos na Serra do Mar, a instalação de mais 2 Lubrificadores no Paraopeba, ampliando a extensão da lubrificação da região além de melhorar a qualidade da mesma e nesta mesma. Em 2014 foi implantando também, a lubrificação na linha 2 da Serra do Mar, com a instalação de 15 kits de conversão da linha singela para mista (dual track), contribuindo para a melhoria da qualidade da lubrificação na linha 1, visto a movimentação de trens entre as linhas.

Em 2012 foi implantado o projeto na região da Frente Norte da Ferrovia do Aço e em parte da Linha do Centro, sendo instalados 40 lubrificadores eletrônicos, do Km 104 ao 388. A implantação da lubrificação na região foi concluída em Dezembro de 2014 com a instalação de mais 12 lubrificadores com aplicação gauge face, estendendo até o Km 504 incluindo a lubrificação na região das alças.

Portanto, a implantação da lubrificação efetiva nos principais pontos mapeados em estudos preliminares foi finalizada em Dezembro de 2014, totalizando 158 equipamentos distribuídos ao longo de 880 Km de linha.

### 3.4. Gerenciamento, Manutenção e RPM

O processo de gerenciamento do atrito é de responsabilidade da área de Engenharia da MRS a qual faz a gestão da manutenção e abastecimento dos equipamentos, além de controlar os resultados obtidos no campo.

O planejamento da manutenção e monitoramento está em conformidade com as boas práticas internacionais e orientações do manual do fabricante. O plano de manutenção considera a inspeção dos principais itens do equipamento, sendo realizado mensalmente a fim de garantir a constante disponibilidade dos mesmos.

A manutenção dos equipamentos e medições é feito por equipe terceirizada e especializada e exclusiva para estas atividades, enquanto que o abastecimento está atualmente em fase de primarização, sendo feito com o apoio de um veículo rodoferroviário.

Atualmente 14% dos equipamentos da

MRS possuem o sistema com monitoramento remoto o RPM (Remote Performance Monitoring) item que possibilita o acesso as informações sobre o status dos equipamentos em campo de forma remota.

Os equipamentos com RPM da MRS foram estrategicamente instalados objetivando suprir uma amostragem de informações, como quantidade de rodas que passaram e o nível do reservatório, entre outras, em cada corredor lubrificado.

A aquisição de peças sobressalentes e produtos utilizado no abastecimento são de responsabilidade da MRS Logística S.A, que faz o planejamento de compra conforme o consumo histórico desses itens.

### 3.5. Verificação de resultados

"Não se pode administrar o que não se pode medir." (Morris A. Cohen). Paralelamente ao projeto de implantação do Gerenciamento do Atrito, medições de campos são realizadas periodicamente para conhecer e quantificar os benefícios do projeto.

São usadas as seguintes ferramentas para avaliar os benefícios do projeto:

Tabela 3: Ferramentas de avaliação e monitoramento.

Aplicação	Método		
Lubrificação da Face de Bitola	Tribômetro Portátil	Acompanham ento de desgaste do trilho (Miniprof)	Inspeção Visual (gabarito)
Controle do Atrito no Topo do Trilho	Instrument ação L/V	Acompanham ento de desgaste do trilho (Miniprof)	Ensaio de Líquido Penetrant e

### 3.6. Disponibilidade

Para garantir que os resultados da lubrificação vão estar nos níveis desejados, é necessário que os equipamentos estejam em constante funcionamento e com taxas de aplicação dos produtos adequadas para cada corredor.

Visando garantir a disponibilidade dos equipamentos, além da rotina de manutenção e abastecimento, toda demanda de desmontagem dos equipamentos para intervenção na via permanente, é informada para Engenharia, que faz o controle, solicitando a montagem

dos mesmos pela equipe terceirizada imediatamente após a conclusão das atividades.

Atividades como esmerilhamento, socaria, troca de trilhos, dormentes entre outras, demandam o desligamento e desmontagem dos equipamentos, porém, mesmo com tais intervenções e casos pontuais de vandalismo a MRS tem garantido que a maior parte dos seus equipamentos tenham uma disponibilidade acima de 95%. Apesar de existirem alguns casos pontuais de com um tempo maior de inatividade, a lubrificação na região é compensada pelo equipamento seguinte, não comprometendo assim os resultados esperados.

### 3.7. Efetividade da Lubrificação

O monitoramento da lubrificação na face de bitola como já citado, é feito com o equipamento tribômetro e o Miniprof e, é realizado sempre nas mesmas curvas de cada corredor contemplado no projeto.

Visando garantir a confiabilidade do processo, também é mantido uma rotina de inspeções visuais, a fim de confirmar se o filme de graxa está dentro dos padrões esperados.

### 3.8. Efetividade do Aplicador TOR

A efetividade do TOR geralmente é avaliada indiretamente através da medição de forças laterais. No início do projeto os resultados indicaram uma redução de 38% na magnitude da força lateral no trilho interno.

Atualmente a efetividade do TOR é comprovada pela menor necessidade de passes de esmerilhamento em regiões onde existe a aplicação TOR. Foi verificado a redução de 3 passes/km nos trilhos internos onde existe a aplicação TOR para 1 passe/km. Menos material é removido do trilho e conseqüentemente a vida útil do trilho aumentará.

### 3.9. Economia de trilhos

Toda a viabilidade de um projeto de Gerenciamento do Atrito é baseada na redução de consumo de trilhos. Nos gráficos a seguir apresentamos a redução do consumo de trilhos. A MRS vem utilizando várias tecnologias que ajudam estender a vida útil dos trilhos, como esmerilhamento,

retrofit de truques, porém a maior parte da redução do consumo de trilhos é devido ao Gerenciamento do Atrito.

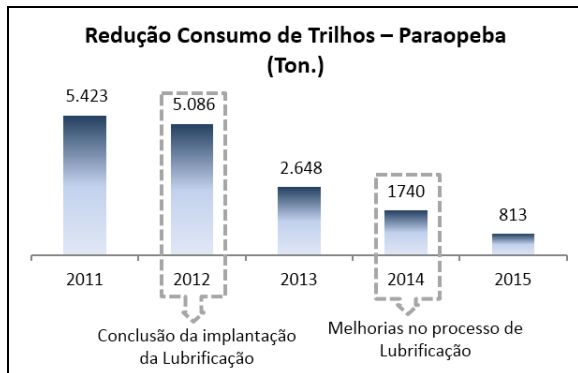


Figura 7: Redução consume de trilhos no Ramal do Paraopeba.

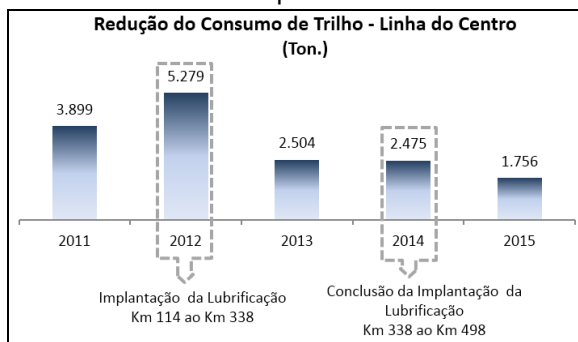


Figura 8: Redução consume de trilhos na Linha do Centro.

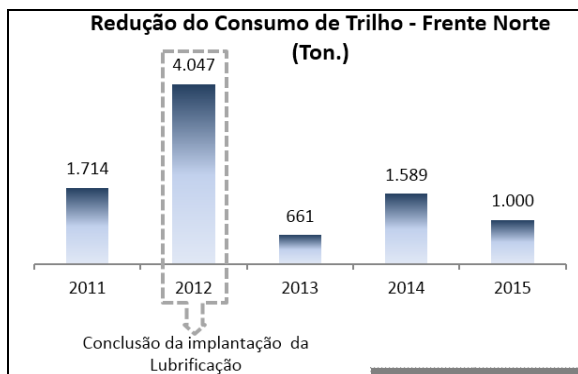


Figura 9: Redução consume de trilhos na Frente Norte.

Na Serra do Mar, apesar de ter reduzido o consumo de trilhos, não foi possível mensurar a redução devido ao trecho estar passando por um processo de renovação.

### 3.10. Economia de combustível

Segundo o trabalho de J. Cotter, Y. Liu; et al 2004, entre Dezembro de 2013 e Janeiro de 2014 foi realizado na malha da MRS um teste, envolvendo as áreas da Engenharia da Malha e de Operações, visando quantificar os ganhos provocados pelo gerenciamento do atrito no consumo de combustível.

Segundo os autores, o consumo de combustível varia conforme a densidade de curvas, portanto, foi escolhido o trecho do Paraopeba, onde temos considerável densidade de curvas, além de ser a rota de circulação dos trens de minério, o que contribui para uma acentuada carga por eixo.

O desenvolvimento do teste foi baseado na comparação do consumo de combustível na linha lubrificada e na linha seca (sem lubrificação), utilizando ferramentas estatísticas para as análises dos dados, portanto sendo adotada uma abordagem acadêmica.

Durante o teste foram desligados 10 equipamentos, sendo posteriormente coletada a informação da caixa preta dos trens que passaram na região do teste, e feita uma triagem dos dados, a fim de refinar a amostra, tendo informações mais confiáveis.

Conforme a tabela abaixo, foi obtido o seguinte resultado, considerando que o tamanho se refere à quantidade de trens que passaram no local quando estava com e sem lubrificação, mínimo e máximo se refere as quantidades de combustível utilizada, informações dadas em litros.

Tabela 4 – Resumo dados estatísticos

Estatística	Com	Sem
Tamanho	43	74
Mínimo	45,859	41,812
Máximo	84,9350	96,5940
Média	67,43902326	70,47631081
Mediana	67,8180	70,7610
Moda	61,6900	64,2120
Amplitude	39,0760	54,7820
Desvio-padrão	9,85301560	12,18362025
Coef. Variação	15%	17%

Observando as médias obtidas, pode-se estimar um ganho em torno de 4,31%, entretanto, deve-se ressaltar que apesar da triagem dos dados levantados ainda ocorre uma grande variabilidade nos mesmos, confirmadas pelas medidas de amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação. Objetivando ainda confirmar as informações obtidas e verificar se há relevância estatística foi aplicado o Teste de Hipótese, para a diferença de consumo de combustível quando lubrificada e quando sem lubrificação, o resultado obtido foi de que os

dados analisados são inconclusivos.

Além da grande variabilidade dos dados levantados, outro fator que pode ter contribuído para o resultado é a pequena base de dados que contemplava uma extensão de aproximadamente 10km.

Contudo, é considerado que a lubrificação de trilhos contribui para a eficiência energética e atualmente consideramos esse ganho como agregado ao processo, visto que, a redução no consumo de trilhos já é o suficiente para viabilizar o processo de implantação e manutenção do projeto.

### 3.11. Benefícios agregados

O Gerenciamento do Atrito é um projeto que engloba várias áreas de uma ferrovia, os ganhos imensuráveis são vários, como por exemplo a redução do desgaste de rodas, redução da necessidade de consolidação de bitola, aumento da segurança da via entre outros.

Um exemplo relativo a segurança é que quando as composições aplicavam o freio de emergência, geralmente ocorria descarrilhamento de alguns vagões da composição, desde a implantação do Gerenciamento do Atrito esse tipo de descarrilhamento por subida de roda devido ao choque desapareceu.

### 4. Conclusão

A MRS Logística S.A obteve ganhos comprovados na redução de consumo de trilhos e rodas, sendo percebida uma redução significativa de descarrilamentos devido a subida de rodas, e permitindo também o desenvolvimento testes para aumento de VMA e quantidade de vagões, devido ao aumento do L/V crítico.

Mesmo com o custo de manutenção dos equipamentos e insumos necessários para o abastecimento e reposição de peças, apenas a redução no volume de trilhos já viabiliza a continuidade do processo.

É feito um contínuo monitoramento do coeficiente de atrito, objetivando garantir a eficiência do processo, a rotina de medições varia conforme a operação de cada corredor, visto que temos particularidades como a Linha do Centro onde o tráfego unidirecional e sendo o circuito dos trens vazios, garante que 99% dos pontos medidos estejam dentro da faixa ideal enquanto na Serra do Mar, onde temos uma região de rampa com curvas

de raio moderado e apertado e trens circulando com elevada carga por eixo temos 87% dos pontos dentro do nível esperado.

Portanto, apesar do projeto de implantação da lubrificação de trilhos já ser considerado concluído, existem melhorias a serem implementadas, principalmente no que tange a gestão dos ativos, sendo necessário um contínuo controle dos resultados a fim de garantir os resultados obtidos e trazer uma constante melhoria ao processo.

## 5. Referências Bibliográficas

Carmo, R.; Vidon, F.; Eadie, D.; Oldkown, K.; Lopes, L.; O Gerenciamento do Atrito na MRS Logística, III Encontro de Ferrovias, 2012, Juiz de Fora.

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.

Eadie, D.; Lubrication And Friction Management: Fundamentals, Applications, Equipment & Results, Principles Course-Wheel Rail Interaction Conference, Chicago, 2010.

Kalousek, J., The "Magic" Wear Rate, Railway Track & Structure, Março, 1997.

Roney, M., Eadie, D., Oldknow, K., Sroba, P., Caldwell, R. and Santoro, M., Total Friction Management on Canadian Pacific, Proceedings of the International Heavy Haul Association, Shanghai, June 2009, 10pp

Sroba, P.; Roney, M.; Dashko, R.; Magel, E.; Canadian Pacific Railway's 100% Effective Lubrication Initiative, AREMA 2001 Conference & Exhibition, 2001.

Vidon, F., Fundamentos do Gerenciamento do Atrito, IME, Rio de Janeiro, 2012.

Vidon, F., Soares, L., Carmo Santoro, R., O impacto da Gestão do Atrito na Manutenção da Via Permanente - Uma avaliação do emprego em ferrovias mundiais, IV Encontro de Ferrovias, 2013, Vitória.

Cotter, J., Elvidge, D., Liu, Y., Roberts, J., Utilization of Top of Rail Friction Modifiers to Reduce Greenhouse Gas Emissions for the Freight Railroad Industry, Canada, 2004.

Dutra, Q., Silva, D., Influência da Lubrificação de Trilhos no Consumo de Combustível, Juiz de Fora, 2014.