

O impacto da Gestão do Atrito na Manutenção da Via Permanente - Uma avaliação do emprego em ferrovias mundiais

F. O. Vidon^{1*}, L. S. Soares², R. C. do Carmo Santoro³

¹ CH. Vidon Especialistas, Serviços e Equipamentos Ferroviários, Rua Halfeld 744, 36010-003, Juiz de Fora – MG

² Consultor autônomo, rua Paulo de Souza Freire, 110 Juiz de Fora – MG

³ LB Foster Rail Technologies, Inc., 4041 Remi Place, Burnaby, V5A 4J8 Vancouver – Canadá

e-mail: fov@chvidon.com.br; falemo.soares@gmail.com; rcarmosantoro@lbfooster.com

Resumo: A manutenção ferroviária é uma atividade economicamente dispendiosa. O ativo mais caro da superestrutura, o trilho, é responsável por aproximadamente 50% de todo o orçamento da via permanente. No Brasil cerca de 120.000 toneladas de trilhos são usadas anualmente somente para manutenção, enquanto na América do Norte cerca de 1.200.000 toneladas são destinadas para esse fim. Qualquer aumento na vida útil do trilho impactará positivamente nos custos de uma ferrovia. O controle do atrito na interface roda-trilho vem sendo utilizado por quase 100 anos, porém nas duas últimas décadas um grande salto de qualidade foi alcançado. A fabricação de lubrificadores eletrônicos com controle preciso na distribuição de lubrificante e o desenvolvimento do modificador de atrito para aplicação no topo do trilho são resultados dos recentes desenvolvimentos. Com a utilização de dois tipos de materiais, graxa e modificador de atrito, em duas diferentes áreas da interface roda-trilho, resultados significativos são alcançados: desde o aumento da vida útil de trilhos e rodas até a diminuição do consumo de combustível das locomotivas. A falta do controle do atrito é sinônimo de desperdício de dinheiro e baixa produtividade. Uma ferrovia moderna necessita diminuir o tempo despendido com a manutenção e ao mesmo tempo diminuir a energia necessária para mover sua carga, essas necessidades irão influenciar diretamente no custo operacional. Paralelamente o controle do atrito vai de encontro às demandas sustentáveis, menos gases do efeito estufa serão lançados na atmosfera. O impacto causado na rotina da manutenção da Via Permanente pelo Gerenciamento do Atrito será apresentado juntamente com os benefícios da utilização desta tecnologia, comparando resultados obtidos em diversas ferrovias de carga ao redor do mundo, inclusive iniciativa de uma ferrovia brasileira.

Palavras-Chaves: Via Permanente, Gerenciamento do Atrito, aplicador TOR e lubrificação.

1. INTRODUÇÃO

Gerenciamento do atrito é o processo de controle e manutenção do coeficiente de atrito nas bandas de contato da interface roda-trilho em valores apropriados para um ótimo desempenho do sistema roda-trilho.

Frequentemente é interpretado apenas considerando a lubrificação da face de bitola dos trilhos. Porém o controle do atrito no topo do trilho é uma poderosa ferramenta para abordar problemas não tratados pela lubrificação, incluindo algumas formas de ruído, corrugação, altas forças laterais e

possíveis instabilidades de veículos. De fato, pode ser ainda mais uma ferramenta para tratar problemas de desgaste e fadiga.

A lubrificação é empregada largamente para reduzir o atrito e conseqüentemente reduzir o desgaste na área de contato roda-trilho para melhorar a vida útil de trilhos e rodas, economizar energia e reduzir o ruído. A resistência ao movimento do trem em curvas e tangentes pode ser drasticamente reduzida através do correto controle do atrito na interface roda-trilho. A AAR (American Association of Railroads) estima que o desgaste e o atrito devido a uma lubrificação

ineficiente da interface roda-trilho custa ao menos US\$ 2 bilhões cada ano.

Existem duas zonas de atrito no trilho, a face de bitola e o topo do trilho. Essas zonas possuem diferentes requisitos de atrito e requerem dois materiais distintos: lubrificante e modificador de atrito. Modificador de atrito é um material que controla o coeficiente de atrito em níveis considerados ideais, que minimizam o desgaste sem afetar a frenagem ou tração. É um líquido a base d'água com partículas sólidas em suspensão, não é óleo. Graxa é um lubrificante que reduz o coeficiente de atrito em níveis mais baixos possíveis.

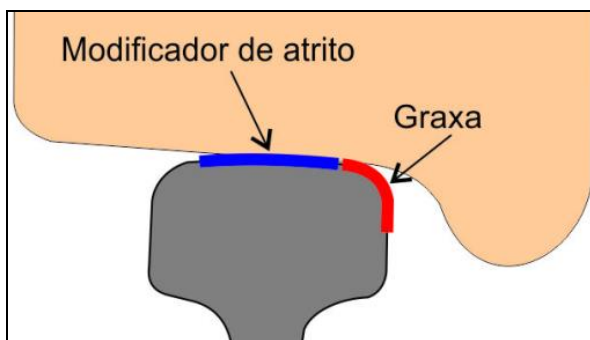


Figura 1: Duas áreas distintas da interface roda-trilho necessitam dois materiais distintos.

A utilização de aplicadores de graxa e modificador de atrito eletrônicos instalados ao lado da via é padrão para ferrovias heavy haul. A maior vantagem dos equipamentos eletrônicos é o preciso controle de vazão dos produtos de gerenciamento do atrito, além de necessitarem de menos manutenção se comparados com equipamentos mecânicos ou hidráulicos. Uma das inovações tecnológicas dos equipamentos é o monitoramento remoto (RPM – Remote Performance Monitoring) através do qual é possível acessar o equipamento por qualquer dispositivo conectado a internet e acessar informações sobre funcionamento, configuração, nível do reservatório, nível da bateria, etc.



Figura 2: Lubrificador L.B. Foster Protector IV.

O coeficiente de atrito entre a roda e o trilho varia entre 0 e 0,8. Em geral os objetivos do Gerenciamento do Atrito são:

- Lubrificar a face de bitola dos trilhos para diminuir o atrito, desgaste e a resistência de curvatura ($\mu < 0,25$).
- Controlar o atrito no topo do trilho ($0,30 < \mu < 0,40$) para controlar o desgaste, forças laterais e resistência de rolamento.
- Melhorar a tração das rodas das locomotivas através de um coeficiente de atrito constante e otimizado.

2. PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DO ATRITO

O potencial valor de um efetivo controle do atrito na interface roda-trilho tem sido abordado em diversos estudos. Os resultados potenciais são: redução do desgaste de trilhos e rodas, redução do consumo de combustível e redução da degradação da estrutura da via. Na prática muitas ferrovias estão lutando para obter muitas dessas economias. O desafio pode ser devido a restrições operacionais, de manutenção e orçamentárias bem como estrutura organizacional.

As características chaves do programa de gerenciamento do atrito são:

- Implantação em larga escala (grande extensão de linha);
- Efetiva Lubrificação Face de Bitola;
- Efetivo Controle do Atrito de Topo de Trilho;
- Monitoramento Remoto de Desempenho no campo das unidades de aplicação GF e TOR;
- Sistema de manutenção, reparação, abastecimento e gerenciamento;
- Verificação do desempenho para assegurar que os resultados esperados estão sendo obtidos.

Garantir que todo o retorno esperado de um projeto de Gerenciamento do Atrito esteja sendo alcançado é um desafio para as ferrovias. Um dos maiores desafios é manter os equipamentos abastecidos; além disso manter os equipamentos mantidos e operacionais também é significativo. Um exemplo são as barras aplicadoras montadas nos trilhos que geralmente são removidas para o esmerilhamento, e frequentemente não são remontadas e o equipamento não é religado

logo após a conclusão do serviço de esmerilhamento.

Manutenção e abastecimento dos equipamentos instalados ao lado da via são tarefas impopulares para os mantenedores de via devido ao manuseio de lubrificantes. Somando-se a isso, um coordenador de via irá frequentemente considerar a manutenção dos equipamentos de gestão do atrito como baixa prioridade em comparação aos serviços para manter a via permanente operacional. Isto ocorre devido a perda da vida útil do trilho por atrito inadequado não afetar a manutenção imediatamente. Nas ferrovias Classe 1 americanas é estimado que apenas 30% dos equipamentos de gestão do atrito são operacionais em qualquer momento. Isto representa uma substancial penalidade financeira no desgaste de trilho, consumo de combustível, e no capital investido na aquisição do equipamento.

3. O IMPACTO NA MANUTENÇÃO DA VP

3.1. DESGASTE DO TRILHO

A interação entre duas superfícies resulta em perda material de um sólido. Desgaste é a perda ou deslocamento do material na superfície de contato. O material pode desgastar-se de diferentes modos e mecanismos. A forma como um material desgasta depende da natureza do material e outros elementos tais como condições ambientais e contaminantes presentes.

No contato roda-trilho as principais situações de desgaste são: deslizamento e rolamento. O ponto de contato é dividido em duas regiões: o rolamento e o micro deslizamento (creepage).

Em termos de potencial de causar desgaste, o movimento de deslizamento (movimento tangencial a superfície) é mais severo do que o movimento perpendicular à superfície, tal como ocorre com o impacto e rolamento. O número de mecanismos de desgaste que ocorre em razão do deslizamento inclui desgaste por oxidação, presente na condição de contato suave (baixo carregamento e deslizamento veloz – típico no topo do trilho-banda de rodagem). Em condições severas, desgaste adesivo (em curvas, no contato do canto de bitola com o flange das rodas). Se partículas estão presentes no contato, o desgaste abrasivo também ocorre

(poderá ocorrer no uso de material para aumentar a tração, como a areia). Condição de severo deslizamento poderá ocasionar severo desgaste e alto aquecimento no contato, o qual causa fraturas térmicas na superfície de material (observado em curvas muito apertadas).

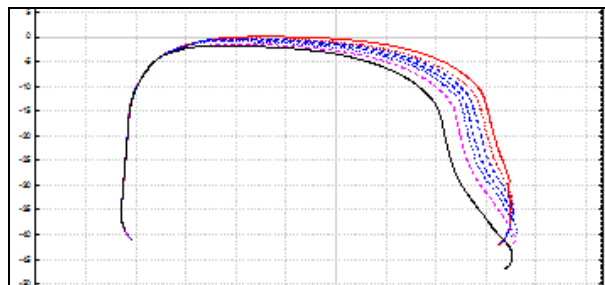


Figura 3: Desgaste lateral do trilho.

O atrito é dependente da resistência desta árdua interface entre a roda e o trilho em compressão e cisalhamento. Os lubrificantes criam um filme limite entre as superfícies de contato que evita as superfícies de “trabalharem” entre si, onde o flange da roda esmerilha a face de bitola. O objetivo é separar as superfícies de contato para que não sofram abrasão e arrancamento de material uma da outra. Esta situação requer uma proteção com alta resistência à compressão e baixa resistência ao cisalhamento e o não rompimento em altas temperaturas. Isso explica a prevalência de graxas a base de petróleo na lubrificação convencional da face/canto de bitola. A lubrificação da face de bitola combate o desgaste do flange da roda e da face/canto de bitola dos trilhos enquanto o controle do atrito no topo do trilho combate o desgaste na banda de rodagem das rodas e no topo do trilho.

Os resultados de redução de desgaste divulgados são fantásticos. A Canadian Pacific Railway eliminou o desgaste lateral na Subdivisão de Thompson. Em geral a redução do desgaste de trilho quando o gerenciamento do atrito é implantado é da ordem de 35%-60%.

3.2. ROLLING CONTACT FATIGUE (RCF)

Embora taxas de desgaste excessivo desperdiçam trilhos e rodas, desgaste insuficiente permite que trincas de fadiga se iniciem e se propaguem, o que também reduzirá a vida útil dos trilhos. Com o emprego do gerenciamento do atrito a taxa de desgaste é reduzida até 20 vezes ou até mesmo

eliminada, surge assim a preocupação com a fadiga de contato de rolamento (RFC).

RCF é uma família de fenômeno de danos que aparecem nos trilhos devido ao excesso de tensão de contato no material do trilho. Estes fenômenos são resultados de repetições de excesso de tensão de contato no material da superfície e subsuperfície do trilho, causado por milhões de ciclos intensos de passagem de rodas.

Com os defeitos superficiais, o ciclo de altas tensões e altas trações causa o escoamento de uma fina camada de metal da superfície do trilho na direção da carga aplicada. Esta camada da superfície sofre endurecimento a frio e posteriormente fratura, iniciando o trincamento da superfície. Estas trincas podem crescer sob os carregamentos subsequentes, ligando-se entre si e formando defeitos de shelling.

A vida útil dos trilhos é afetada pela combinação de mecanismos:

- Fadigas de contato
- Desgaste
- Falhas de fadigas

Fadigas de contato e desgaste acontecem na superfície e subsuperfície dos trilhos, enquanto falhas de fadiga ocorrem internamente no boleto dos trilhos.

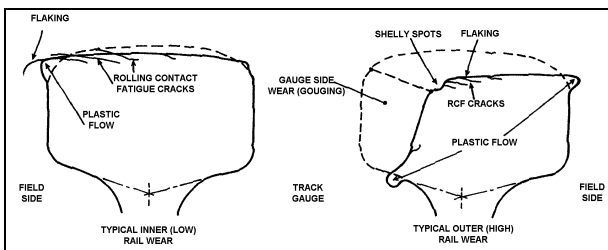


Figura 4: Desgaste e defeitos de fadiga que afetam a vida útil dos trilhos.

A iniciação e crescimento das trincas de RCF é um fator determinante na vida útil dos trilhos. RCF é formada quando a pressão do contato e as condições de deslizamentos (creepages) resultam no fenômeno ratcheting do material. Ratcheting é uma acumulação de deformação plástica que eventualmente exaure a ductilidade do aço do trilho e resulta na formação de trincas. Essas trincas crescem no corpo do trilho, dirigidas pelas forças de interação roda-trilho e de tração na superfície do trilho, resultando em defeitos superficiais ou transversais.

Defeitos transversais eventualmente podem levar a quebra do trilho e necessitam a remoção das trincas por esmerilhamento antes da fase de crescimento acelerado das trincas.

A redução de RCF pelo Gerenciamento do Atrito é explicada pelo diagrama de Shakedown, que ilustra a relação do atrito no ponto de contato e a capacidade de carga do contato. Se o material em estudo cai na região rosa, acima da linha preta A e C, o material perde toda a resistência à deformação e entra em contínua deformação plástica. O eixo vertical do gráfico é o fator de carga P_0/K . P_0 é dado pela equação de Hertz e K é dado pela tensão de cisalhamento limite dado pela dureza do aço em MPa. O eixo horizontal é o coeficiente de tração que nada mais é que o coeficiente de atrito.

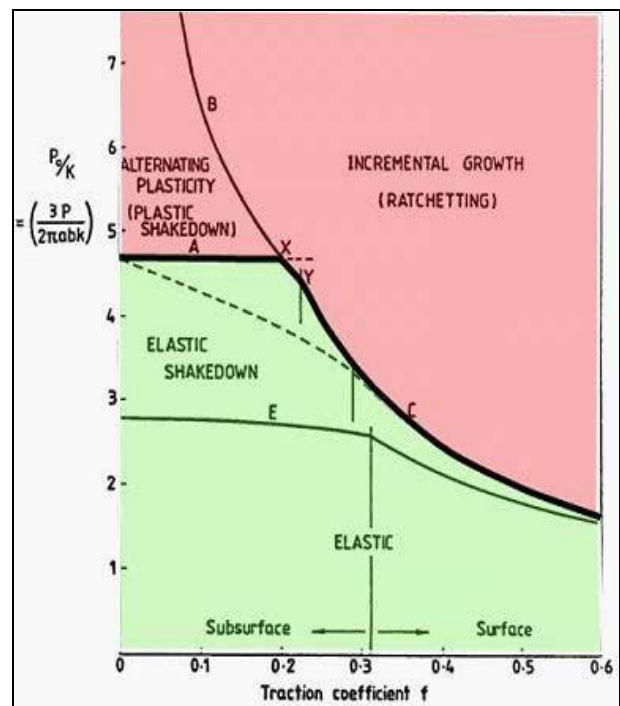


Figura 5: Diagrama de Shakedown.

Em relativos coeficientes de atrito, cumulativos escoamentos plásticos ocorrem sobre a superfície. Para coeficientes de atrito acima de 0,3, o escoamento plástico é maior na superfície. A pior posição em termos de danos ao material é na região de ratcheting, onde a deformação é acumulada até a ductilidade do material ser atingida, em consequência disso começa a perda de material (limalhas de aço) ou o aparecimento de fissuras na superfície do material é iniciado.

O limite entre desgaste suficiente e insuficiente, a taxa de desgaste ótima ou

mágica, representa um estado de equilíbrio no qual o desenvolvimento de fadigas é controlado pelo desgaste ou pela remoção de material.

Em uma condição lubrificada, o trilho levará pelo menos 2 anos para remover a mesma quantidade de material que seria removida em uma semana na condição seca.

Quando a taxa de desgaste cai a um certo valor – taxa mágica de desgaste – a superfície do trilho alcança seu limite de fadiga antes da superfície ser desgastada. Trincas na superfície irão aparecer, e se forem ignoradas, resultaram em shelling, flaking e corrugação.

Eadie, D.; *et al*; 2001, relata que tanto lubrificantes como modificadores de atrito podem mitigar os danos às rodas e aos trilhos causados pelo RCF. Ambos têm comportamento semelhante para inibir o início das fissuras relacionadas ao RCF, porém modificadores de atrito têm também a habilidade de minimizar o crescimento das fissuras já existentes. Uma vez iniciadas, as fissuras irão se propagar, a não ser que sejam removidas pelo esmerilhamento ou pelo desgaste natural. Como os lubrificantes possuem líquidos, eles tendem a pressurizar as fissuras, fazendo com elas se propaguem; os modificadores de atrito, possuem sólidos em sua formulação e não causam este efeito, é uma tecnologia seca.

Assim, modificadores de atrito ajudam a minimizar o crescimento das fissuras e, em consequência, a minimizar os danos causados pelo contato roda x trilho. Minimizando o crescimento das fissuras e retardando o aparecimento delas, é possível estender o ciclo de esmerilhamento. Com menos trincas na superfície do trilho, o número de passes/km também diminui, reduzindo o custo do Esmerilhamento. O número de ferrovias que utilizam a tecnologia mostram uma redução de 15%-25% na taxa de crescimento das trincas.

3.3. FORÇA LATERAL

O Gerenciamento do Atrito permite uma redução da magnitude da força lateral em torno de 20%-40%. Isto é possível pois de modo simplificado, a força lateral é o produto do coeficiente de atrito no topo do trilho interno e a carga vertical sobre o trilho interno.

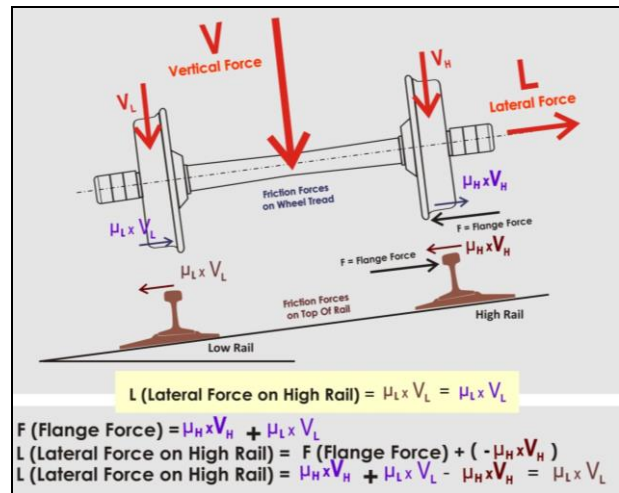


Figura 6: Forças simplificadas existentes quando um rodeiro-guia inscreve uma curva.

Reduzindo a magnitude da força lateral, conseqüentemente a solicitação sobre a superestrutura da via permanente é reduzida, e os impactos são:

- Redução da necessidade de realização de consolidação de bitola;
- Redução de placas de apoio quebradas ou desgastadas;
- Redução da necessidade de correção geométrica da via;
- Aumento da vida útil de grampos;
- Aumento da vida útil da dormentação devido à redução do fenômeno tie plate cutting (placa de apoio cortando a superfície do dormente).

3.4. CORRUGAÇÃO

O aparecimento de corrugação está relacionado com o fenômeno stick-slip. O que ocorre no fenômeno stick-slip é o ciclo repetitivo da roda girar e deslizar quando o ponto de contato já está saturado, ou seja, o ponto de contato não tem capacidade de absorver tração. Após a condição saturada ser alcançada, qualquer aumento na força de tração acarretará no aumento do deslizamento, essa característica é chamada fricção negativa. Com o uso do modificador de atrito, o fenômeno stick-slip não ocorre, e a característica da fricção positiva é observada, ou seja, é a capacidade do atrito aumentar quando ocorre um deslizamento.

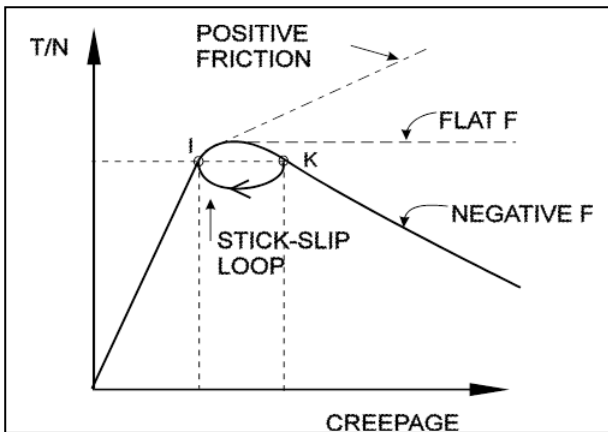


Figura 7: Gráfico Creepage x T/N.

Estudos do fenômeno stick-slip indicam três métodos de reduzir ou eliminar este fenômeno:

- Aumentar a rigidez do sistema mecânico (frequência de vibração) ou equipamento onde o stick-slip ocorre;
- Reduzir o COF entre os corpos que se movem a níveis baixos;
- Mudar as características do atrito negativo para positivo entre as superfícies que se movem.

Fornecendo suficiente fricção positiva na interface roda-trilho, dois dos três métodos para reduzir as oscilações stick-slip que induzem as corrugações são alcançados:

- Modificadores de atrito reduzem o COF para 0,35 e controla o COF a níveis que não interferem na tração/frenagem
- Modificadores de atrito mudam o comportamento friccional da interface, de negativo para positivo.

3.5. ESMERILHAMENTO DE TRILHOS

Quando o desgaste é inibido, o mecanismo de falha predominante será a fadiga. Sendo assim o esmerilhamento tem fundamental importância, pois a superfície do trilho necessita de um desgaste mínimo para eliminar as micro trincas provenientes da solicitação do material.

Embora precise de muito mais tempo e tráfego para iniciar trincas num trilho lubrificado corretamente do que num trilho sem lubrificação, fadigas microscópicas de contato eventualmente irão aparecer na superfície do trilho.

Trincas de fadiga na superfície do trilho crescem rapidamente quando contaminada com água e um pouco menos quando contaminada com uma mistura de água e

lubrificante. Por outro lado, a lubrificação reduz substancialmente a tensão de tração na superfície roda-trilho e por isso aumenta o número de ciclos do contato que contribui para a fadiga. Por esta razão, esmerilhamento preventivo (no qual as trincas na superfície são eliminadas) em combinação com lubrificação pode aumentar significativamente a vida do trilho.

Desde que a lubrificação também elimina o desgaste na face de bitola do trilho externo e controla a força lateral em curvas, um efetivo programa de lubrificação é essencial para o sucesso do esmerilhamento preventivo assim como para maximizar a vida útil dos trilhos.

Quando a lubrificação é confinada na face de bitola, e o topo do trilho interno e externo permanecem seco, as forças laterais geradas na inscrição do truque em uma curva são maiores.

O resultado de altas tensões de contato e baixas taxas de desgaste natural promove o aparecimento de shelling no canto de bitola do trilho externo. Sob essas condições o Manual da AREMA recomenda a necessidade de esmerilhar a área abaixo do canto de bitola do trilho (entre 30° e 60°) removendo pelo menos:

- 0,127 mm (5/1000") no ângulo de 60° da superfície do trilho ou;
- 0,406 mm (16/1000") no ângulo de 45° (esmerilhadoras que não trabalham a 60°)

...em cada ciclo preventivo de esmerilhamento.

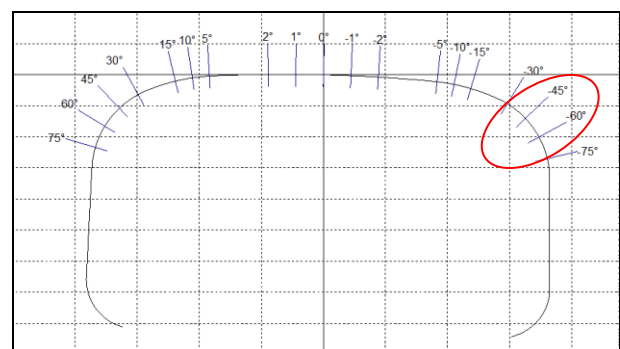


Figura 8: Regiões que precisam ser esmerilhadas para evitar o aparecimento de shelling em regiões lubrificadas.

4. INICIATIVAS DE GERENCIAMENTO DE ATRITO NO MUNDO

O Gerenciamento do Atrito comprovadamente oferece a ferrovias um atrativo retorno sobre

investimentos, baseado em redução de desgaste de trilho, roda e de consumo de combustível, além do aumento da vida útil da superestrutura da Via Permanente.

Nos últimos 5 anos as ferrovias Classe I tem procurado a maneira mais efetiva para obter benefícios com o Gerenciamento do Atrito. A Tabela 1 mostra o status das principais ferrovias de carga Norte Americanas apresentando os benefícios documentados em estudos realizados em diversas condições operacionais.

Tabela 1: Utilização e Resultado do Gerenciamento do Atrito nas Ferrovias Class 1 norte americanas.

FERROVIA	EQUIPAMENTOS INSTALADOS	BENEFÍCIOS ENCONTRADOS
CANADIAN PACIFIC	800 GF 300 TOR	5,7% - ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL 50% - DESGASTE VERTICAL - TRILHO EXTERNO 57% - DESGASTE VERTICAL - TRILHO INTERNO 42% - FORÇAS LATERAIS REDUÇÃO DE ABERTURA DE BITOLA EM DORMENTE DE MADEIRA
CANADIAN NATIONAL	1200 GF 85 TOR	30 - 40% - DESGASTE VERTICAL TI E CANTO DE BITOLA TE 30% - FORÇAS LATERAIS
BNSF	1700 GF 825 TOR	25-50% - FORÇAS LATERAIS
UNION PACIFIC	3000 GF 500 TOR	57% - DESGASTE VERTICAL - TRILHO INTERNO 25% - DESGASTE VERTICAL - TRILHO EXTERNO 61% - GF E GC - TRILHO EXTERNO 18 - 30% - FORÇAS LATERAIS
NORFOLK SOUTHERN	2000 GF 700 TOR	25-50% - LATERAL FORCES REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL REDUÇÃO DE BITOLA CARRREGADA
QUEBEC CARTIER	AUTOPILOT	3 - 4% - ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL

No Brasil, a MRS Logística é pioneira na implementação do Gerenciamento do Atrito. As figura 9, 10 e 11 mostram as taxas de redução do desgaste por faixa de curvatura obtidos em diferentes trechos da MRS. A redução média da taxa de desgaste de trilhos foi 38%. Considerando somente a Linha do Centro temos 75% de redução do desgaste lateral. Em curvas apertadas (R<350m) a redução foi de 97% do desgaste lateral. A MRS está apurando resultados similares aos das melhores práticas publicadas e pode servir como benchmarking para as ferrovias brasileiras no que diz respeito a implantação, manutenção e acompanhamento de resultados.

Além dos resultados apresentados na Tabela 1, vários papers são apresentados em caráter confidencial, ou seja, omitindo os nomes das ferrovias. Ainda assim, é possível verificar o sucesso da implementação do Gerenciamento do Atrito. Por exemplo, Eadie, *et al*, 2006 e Stock, *et al*, 2009, mostraram que com o uso do modificador de atrito KELTRACK é possível suprimir o surgimento de RCF e o crescimento de trincas além de retardar o desgaste de

trilhos. O resultado será uma extensão do intervalo de esmerilhamento (estimada entre 15% - 20%).

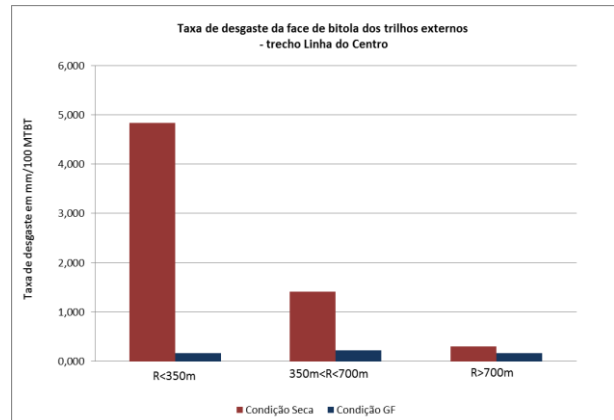


Figura 9: Resultado do desgaste lateral de trilhos na Linha do Centro da MRS Logística.

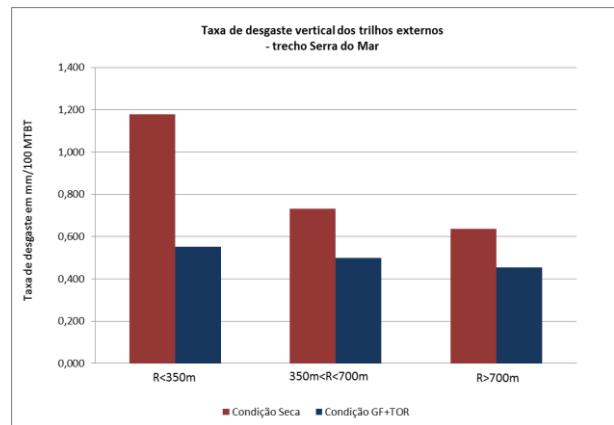


Figura 10: Resultado do desgaste vertical de trilhos externos no trecho da Serra do Mar na MRS Logística.

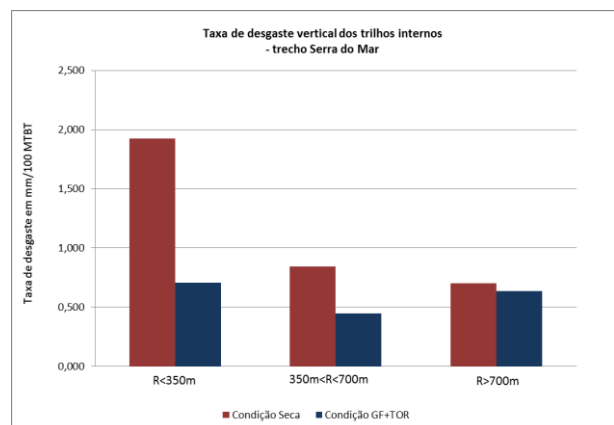


Figura 11: Resultado do desgaste vertical de trilhos internos no trecho da Serra do Mar na MRS Logística.

Cotter, *et al*, 2004, cita o estudo do NRC (National Research Council of Canada) que demonstrou economia de combustível entre 3-4% em um trem instrumentado. A economia aumenta com a densidade de curvas. Não há

economia de combustível em aplicação de freio dinâmico.

5. CONCLUSÃO

O Gerenciamento do Atrito é uma tecnologia que traz benefícios para três áreas fundamentais de uma ferrovia: custos, segurança e meio ambiente. Além da redução da necessidade de trocas de trilhos, o Gerenciamento do Atrito aumenta a disponibilidade da via, será necessário menos manutenção.

Os benefícios da implantação da gestão do atrito são enormes, muitos ainda imensuráveis. Algumas práticas de manutenção da VP precisam ser adequadas, como por exemplo o esmerilhamento de trilhos. A obtenção de todos os benefícios é um desafio para as ferrovias, porém não é impossível.

No Brasil já temos resultados de sucesso do uso da tecnologia, comparados com resultados divulgados das ferrovias Class 1 norte-americanas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à MRS Logística S.A., CH.Vidon e L.B. Foster que não medem esforços para a resolução dos problemas do cotidiano e buscam a melhoria de processos, contribuindo para o desenvolvimento do Gerenciamento do Atrito no Brasil.

7. REFERÊNCIAS

AREMA Manual for Railway Engineering 2012

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

Eadie, D., Elvidge, D., Oldknow, K., Stock, R., Pointner, P., Kalousek, J. and Klauser, P., The Effects of Top of Rail Friction Modifier on Wear and Rolling Contact Fatigue: Full Scale Rail-Wheel Test Rig Evaluation, Analysis and Modelling, 7th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (CM2006), Brisbane, Australia, September 24-26, 2006, 9pp

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.

Kalousek, J.; Klein, R., Investigation into Causes of Rail Corrugation, AREA-Bolletín nº 656, Vol. 77, Fevereiro, 1976.

Roney, M; Eadie, D. T; Oldknow, K; Sroba, P; Caldwell, R; Santoro, M; Total Friction Management on Canadian Pacific, International Heavy Haul Association, 2009.

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.

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

Stock, R., Eadie, D., Elvidge, D. and Oldknow, K., Influencing rolling contact fatigue through top of rail friction modifier application – a full scale wheel-rail test rig study, Proceedings of the 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (CM2009), Firenze, Italy, September 15-18, 2009, 10pp

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