



AEAMESP



ESTUDO DE CONTATO RODA-TRILHO PARA ESMERILHAMENTO DE TRILHOS NA VLI.

Thiago Viana

Mestre em Engenharia de Materiais, pela REDEMAT (Rede Temática em Engenharia de Materiais).

Engenheiro Metalurgista, pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

VLI (Valor da Logística Integrada) - Engenheiro Sênior.

Gabriel Schimtz

Engenheiro Mecânico, pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Harsco / Zeta Tech – Gerente de Vendas Regional – América do Sul.



AEAMESP



21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 2º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA: 3 TECNOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.

TÍTULO: ESTUDO DE CONTATO RODA-TRILHO PARA ESMERILHAMENTO DE TRILHOS NA VLI.

1 INTRODUÇÃO

Na empresa VLI (Valor da Logística Integrada) o excessivo desgaste de trilhos e surgimento de defeitos superficiais observados no boleto de trilhos tornou-se uma questão fundamental a ser estudada para se reduzir e/ou eliminar estas anomalias (desgaste/defeito). Para isso, realizou-se um estudo chamado de contato roda-trilho em conjunto com a empresa Harsco-ZetaTech para adequar o contato entre estes dois componentes.

2 OBJETIVO

A seguir serão descritos os objetivos gerais e específicos do trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Relatar estudo realizado para definição dos perfis (*templates*) do boleto dos trilhos e das rodas das locomotivas e vagões, objetivando o contato ideal entre roda e trilho.



AEAMESP



2.2 Objetivos Específicos

Relatar sobre as etapas realizadas para a definição dos perfis (templates), sendo dividida em três fases:

- ✓ Fase 1: avaliação das condições das rodas e dos trilhos e definição dos perfis e padrões de esmerilhamento recomendados.
- ✓ Fase 2: implementação dos programas de esmerilhamento e padrões.
- ✓ Fase 3: avaliação dos resultados do esmerilhamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema acerca de esmerilhamento de trilhos é novo para os colaboradores da VLI e por isso visualizou-se a necessidade de elaborar uma revisão da literatura sobre este tema, sendo utilizados: livros técnicos da biblioteca VLI e artigos técnicos.

3.1 Esmerilhamento de Trilhos

Segundo Zarembski [1], o esmerilhamento de trilhos é amplamente usado em todos os modelos de ferrovia existentes, desde ferrovias de carga pesada (*heavy-axle-load*) até ferrovias de carga geral e de transporte de passageiros (*lighter-axle-load*).

Para melhor entender o propósito do processo de esmerilhamento de trilhos, é necessário primeiramente entender os tipos de defeitos existentes no boleto dos trilhos.

Estes defeitos podem ser separados em duas categorias [1]:

- Defeitos superficiais: ocorrem na superfície externa do boleto do trilho.
- Defeitos internos: ocorrem dentro do trilho e geralmente são originados por alguma irregularidade durante processo de fabricação metalúrgica (inclusão, porosidade, fragilização por hidrogênio).

Neste trabalho abordaremos somente os defeitos superficiais em razão de a esmerilhadora poder retirar somente este tipo de defeito.

Segundo Zarembski [1], os defeitos ou anomalias na superfície do boleto dos trilhos são encontrados em qualquer tipo de ferrovia. Estes defeitos superficiais podem ser divididos em:

- Defeito superficial – não periódico ou defeitos discretos.
- Defeito superficial – periódico.

Os defeitos superficiais – não periódicos são subdivididos em [1]:

- Patinado (*wheel burns*): são causados pela rotação em um mesmo ponto (aceleração) ou deslizamento (frenagem) do rodeiro dos locomotivas. Estes defeitos normalmente são encontrados aos pares (trilho externo e interno de uma curva, por exemplo). A área superficial destes patinados geralmente são entre $12,7\text{mm}^2$ a $25,4\text{mm}^2$. Ver Figura 1[2].



Figura 1 - Presença de patinado sobre o boleto do trilho [2].

- Batimento de juntas (*battered joints*): degradação na extremidade de trilhos que estão unidos por um par de tala de junção.
- Irregularidades de solda (*weld irregularities*): quando a dureza da solda fica muito superior à do trilho pode ser originado defeitos superficiais na solda ou quando a dureza da solda fica muito inferior à do trilho pode ser originado a deformação plástica macroscópica na solda (“canoamento”).

- Danos no boleto (rail head damage): são danos diversos causados no boleto devido à passagem de rodas com lascamentos, calosidades ou arrastamento das mesmas.
- *Head check*: é uma trinca originada no canto do boleto e/ou no topo do boleto devido à fadiga de contato com as rodas (rolling contact fatigue), ver Figura 2[3]. O head check recebe as seguintes denominações:
 - Leve (*light*): menos de 10mm de comprimento superficial de trinca.
 - Moderado (*moderate*): 10 a 19mm.
 - Severo (*severe*): mais de 30mm).



Figura 2 - Presença de defeitos do tipo head check leve no canto do boleto e head check moderado no topo do trilho [3].

- *Squat* defeito provocado pela fadiga de contato e similar ao *head check* e se inicia no centro do topo do boleto.
- *Shelling*: arrancamento longitudinal de material no canto do boleto e pode iniciar trinca transversal.
- Lábio (*lip*): deformação plástica macroscópica (escoamento) do boleto e normalmente ocorre em trilho internos de curvas em seu lado de campo.
- Rugosidade (*surface roughness*): condição não periódica ou não uniforme de ondulações no topo do trilho.

Os defeitos superficiais – periódicos são denominados de Corrugação (*corrugation*).

As corrugações aparecem como “ondas” ou discontinuidades periódicas no topo do boleto

do trilho, ver Figura 3[2]. As corrugações são classificadas de acordo com o tamanho das “ondas”, sendo [1]:

- Microcorrugação (*roaring rail*): são “ondas” muito curtas com comprimento entre 25 a 75mm e profundidade de 0,12 a 0,50mm. São mais encontradas em ferrovias de carga mais leve ou no transporte de passageiros
- Corrugação curta (*shortwave*): são “ondas” curtas com comprimento entre 300 a 600mm e profundidade de 0,25 a 1,25mm. São normalmente encontradas em ferrovias de carga geral e no trilho interno das curvas.
- Corrugação longa (*long wave*): são “ondas” longas com comprimento entre 600 a 3000mm e profundidade de 0,12 a 0,50mm. São normalmente encontradas em ferrovias de alta velocidade para transporte de passageiros.



Figura 3 - Presença de corrugação [2].

Segundo Zarembski [1], a presença de defeitos superficiais no boleto trilho, de uma maneira geral, podem acarretar em:

- Diminuição da vida útil do trilho.
- Diminuição da vida útil das fixações.
- Diminuição da vida útil do lastro.
- Aumento no consumo de combustível.
- Aumento na manutenção das locomotivas.
- Diminuição da vida útil do sistema de freios das locomotivas/vagões.



AEAMESP



- Aumento nos danos das cargas transportadas pelos vagões.
- Acelerado desgaste nos componentes dos truques.
- Aumento de ruídos e vibrações.

Para a remoção destes defeitos superficiais é necessário que se realize um processo denominado de Esmerilhamento de Trilhos. Mas o que é este processo?

Esmerilhamento de trilhos é o processo de remoção de metal do boleto do trilho (aço perlítico) pela ação de rotação de um rebolo cerâmico. Cada rebolo é comandado por motores elétricos ou hidráulicos individuais [1].

É importante que se faça um cálculo preciso para a quantidade de metal a ser removido para o controle de defeitos superficiais ou reperfilamento do boleto. Segundo Zarembski [1], se por um lado uma insuficiente remoção resultará na continuidade da propagação dos defeitos e redução da vida em fadiga dos trilhos, por outro lado uma excessiva remoção de metal potencializa o desperdício de recursos financeiros em razão de um prematuro reperfilamento do boleto.

Este conceito de balanceamento preciso entre fadiga (defeitos) e desgaste (reperfilamento) é chamado de Taxa de Desgaste Mágica (*magic wear rate*). Este conceito está ilustrado na Figura 4 elaborada por Kalousek [4], a qual mostra a correspondência entre a remoção de metal devido ao esmerilhamento/remoção das trincas subsuperficiais. O balanceamento entre esmerilhamento e o desenvolvimento das trincas de fadiga (originadas pelos defeitos superficiais) resultam em uma vida ótima do trilho [1].

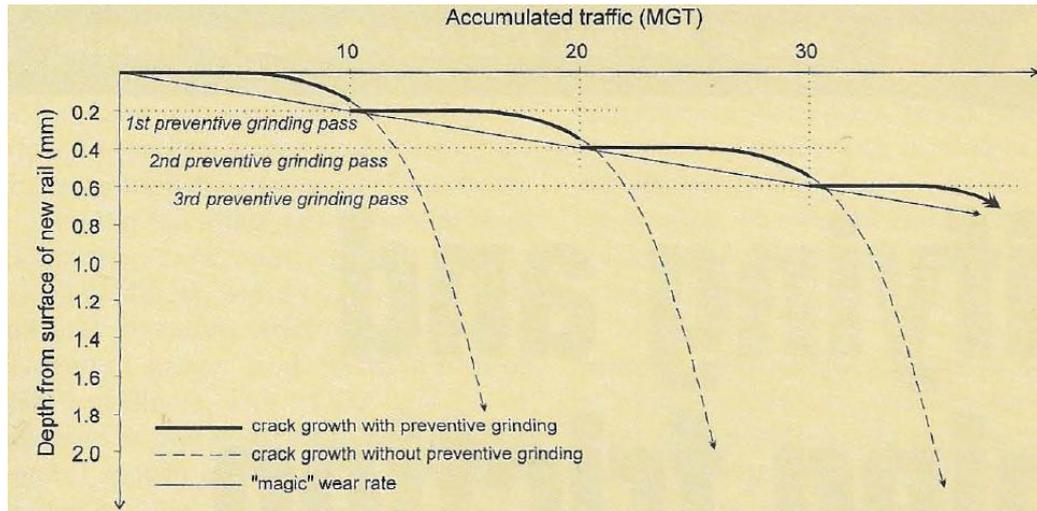


Figura 4 - Taxa de desgaste mágica (*magic wear rate*) [4].

3.2 Perfil das Rodas

Segundo Lewis [5], a mais importante razão a manutenção (torneamento) do perfil das rodas é em razão da segurança operacional. Se o perfil das rodas se torna muito fino (friso fino) é possível ocorrer acidentes ferroviários (descarrilhamento) devido ao friso não entrar corretamente na ponta da agulha dos aparelhos de mudança de via (AMV). Exemplos de perfis transversais corretos de rodas comparados com a existência do friso fino estão mostrados na Figura 5.

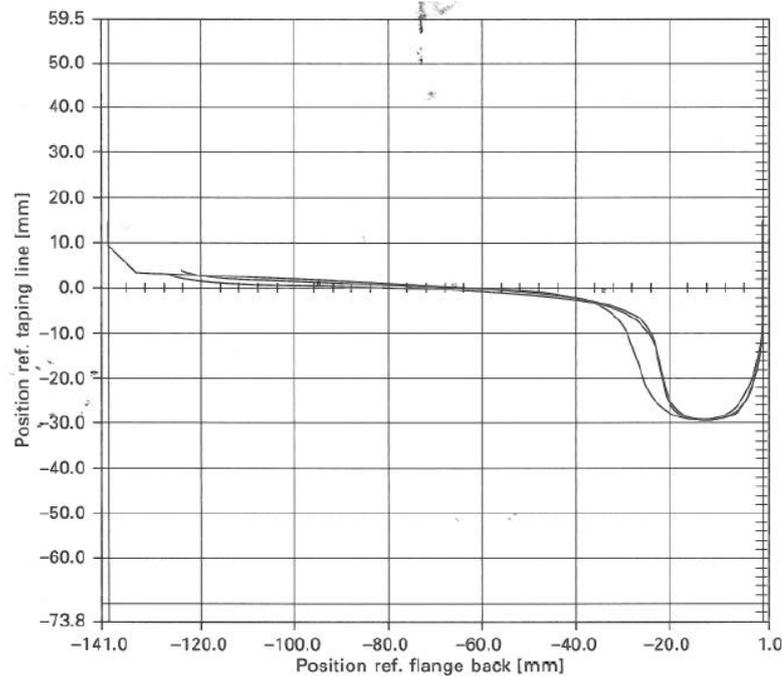


Figura 5 - Perfil de roda removida de serviço devido ao friso fino [5].

3.3 Esmerilhamento de Trilhos: Corretivo VS Preventivo.

Segundo Zarembski [1], o esmerilhamento corretivo é normalmente associado com múltiplos passes de esmerilhamento com uma larga escala de metal removido. Este método é usado extensivamente durante os anos iniciais quando as condições dos trilhos estão significativamente deteriorados e precisam ser restaurados. Já o esmerilhamento preventivo é amplamente utilizado para a eliminação de defeitos superficiais em seu estágio inicial.

Ainda segundo Zarembski [1], existem quatro tipos de estratégias de esmerilhamento, são elas:

- Esmerilhamento Corretivo: é a estratégia que retira os defeitos superficiais e subsuperficiais do boleto e reperfila o mesmo em intervalos (ciclos) entre 20 a 80 MTBT. É associado às múltiplas quantidades de passes e à grande quantidade de metal removido.
- Esmerilhamento Preventivo: é uma estratégia para manter o perfil do boleto e prevenir o desenvolvimento de defeitos superficiais (fadiga). Além disso, esta estratégia é a que mais otimiza o contato roda-trilho. Por outro lado, para se adotar esta estratégia preventiva



AEAMESP



em trilhos degradados com defeitos superficiais severos e/ou inadequado perfil, foi desenvolvido nas últimas décadas as duas estratégias descritas a seguir: Esmerilhamento Preventivo Imediato e o Esmerilhamento Preventivo Gradual.

- Esmerilhamento Preventivo Imediato: similar à estratégia corretiva e é utilizada a estratégia de múltiplos passes para a retirada de todos os defeitos superficiais e reperfilamento do boleto. Esta é uma estratégia que demanda muito tempo de esmerilhamento em uma mesma curva ou tangente, muito tempo de permissão para operação (faixa permitida pelo Centro de Controle Operacional – CCO) e excessivo custo de produtividade.
- Esmerilhamento Preventivo Gradual: esta estratégia emergiu nos últimos anos para evitar o alto custo de operação e as grandes quantidades de remoção de metal através do processo de múltiplos passes. Segundo Stanford [6], esta estratégia preventiva gradual foi desenvolvida pelo NRC (*National Research Council of Canada*) e implementada inicialmente na Ferrovia BNSF (*Burlington Northern Santa Fe*) em 1998.

4 DESENVOLVIMENTO

Em 2014 a VLI realizou a compra da primeira esmerilhadora de boleto de trilho para esta empresa. Em paralelo a este trabalho, a Supervisão de Engenharia de Superestrutura e Equipamentos de Via em conjunto com a Harsco iniciaram um estudo denominado de: contato roda-trilho, sendo dividido em três fases mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Fases do estudo de contato roda-trilho na VLI.

Fase	Mês/Ano	Atividade	Onde
1ª	Dezembro / 2014	Inspeção dos trilhos (miniprof, durômetro e visual)	Corredores: Centro Sudeste e Centro Leste
		Inspeção de rodas (miniprof, durômetro e visual)	Casa de Rodas em Divinópolis e Corredores: Centro Sudeste e Centro Leste
		Definição dos Templates (software específico)	Cherry Hill, New Jersey, EUA
		Definição dos Patterns ou padrões (software específico)	
2ª	Março / 2015	Implantação dos Templates no KLD da máquina esmerilhadora	Horto Florestal, Belo Horizonte
		Confecção dos Templates Físicos ("estrelas") - 6 no total	Cherry Hill, New Jersey, EUA
		Confecção dos bar gauges (para encaixe das estrelas) - 2 no total	
		Implantação dos Patterns na máquina esmerilhadora - 19 no total	Azurita, Mateus Leme - MG
		Testes dos Templates do KLD	
		Testes dos Templates físico/Bar gauge	
Testes dos Patterns (padrões)			
3ª	Março / 2016	Verificação do desempenho do esmerilhamento (aumento da vida útil dos trilhos)	Tests sites dos Corredores: Centro Sudeste e Centro Leste

A seguir será mostrado o detalhamento de cada fase do projeto.

Fase 1 - Avaliação das condições das rodas e dos trilhos e definição dos perfis e padrões de esmerilhamento recomendados:

- Mapeamento do locais para coleta de dados (Figura 6).
- Dados sobre rodas e trilhos foram coletados em locais específicos na via permanente da VLI (Figura 7).
- Em um simulador específico para estudo de contato roda-trilho foram inseridos os dados coletados (Figura 8) e como resultado, o desenvolvimento dos padrões (Figura 9) e perfis (templates), ver Figura 10, ideais para ser adotado pela VLI.



Figura 6 – Mapeamento dos corredores (Centro Leste e Centro Sudeste) onde foram realizadas as coletas de dados.



Figura 7 – Coleta de dados dos trilhos e rodas através dos equipamentos: miniprof (medidor de perfil) e durômetro portátil.

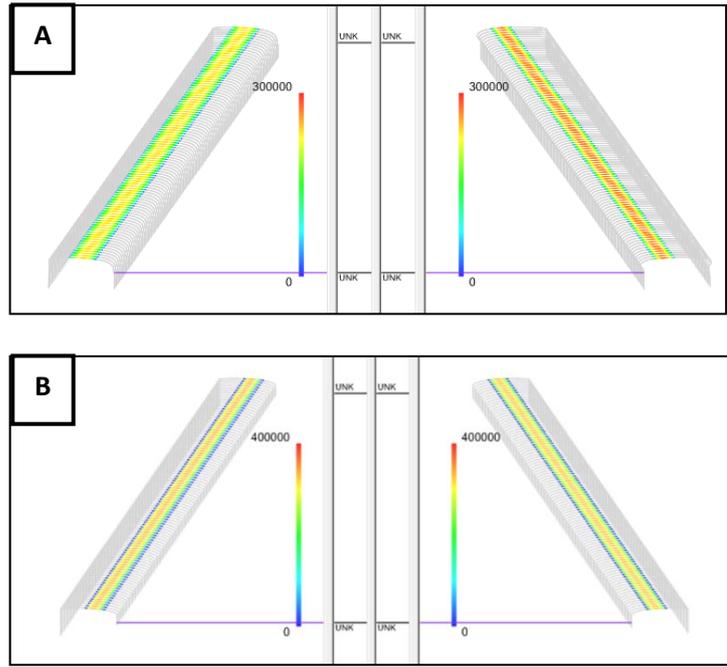


Figura 8 – Simulação computacional para ajuste do contato roda-trilho. No detalhe “A” tem-se a situação atual (pré-esmerilhamento) e no detalhe “B” a situação após a realização do correto esmerilhamento do trilho recomendado.

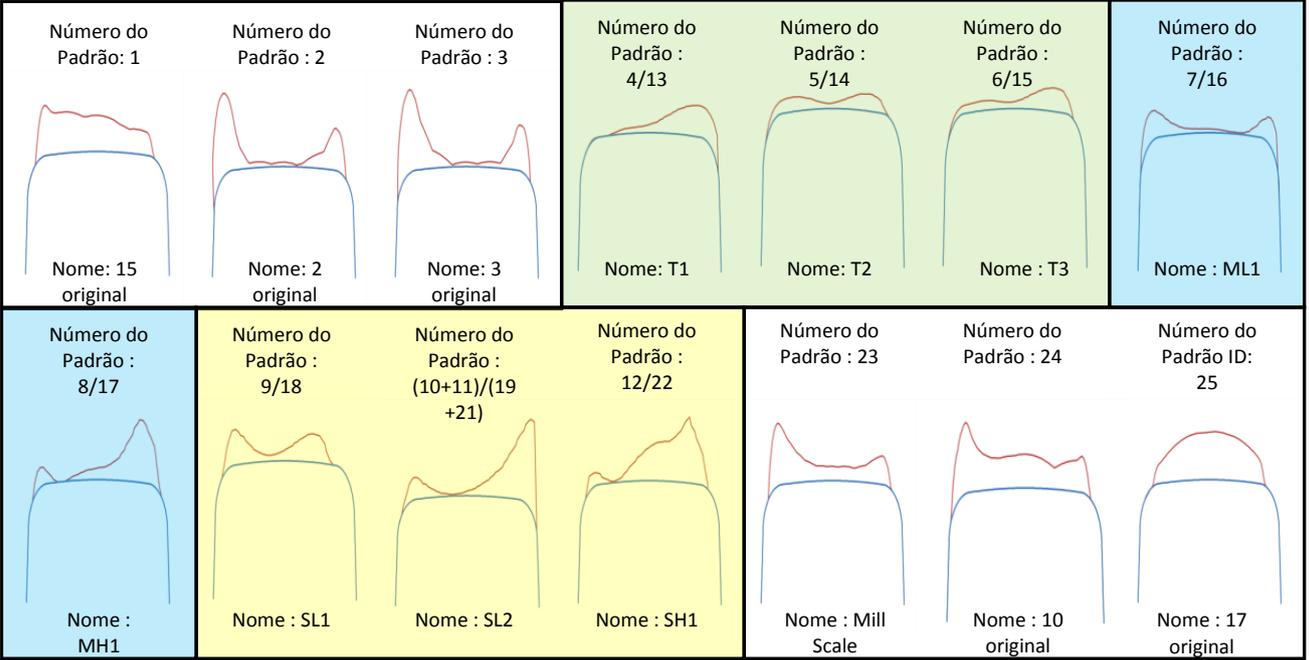


Figura 9 – Padrões recomendados para utilização na operação de esmerilhamento de trilhos.

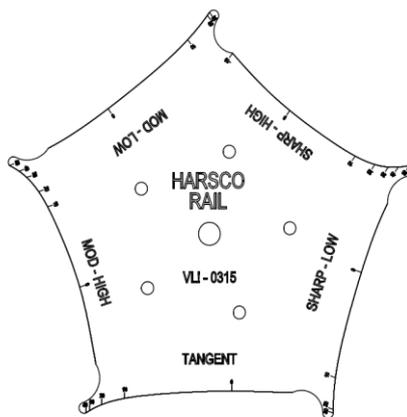


Figura 10 – Perfil (*template*).

As ferramentas utilizadas nesta primeira fase foram: miniprof (medidor de perfil do boleto), durômetro portátil. Os resultados do miniprof e durômetro foram inseridos em software específico para que pudesse ser configurado qual deveria ser a geometria/perfil ideal tanto dos trilhos quanto das rodas.

Os resultados mostrados pelo software foram utilizados para confeccionar o gabarito (*template*) e os padrões (*patterns*) a serem implantados na máquina esmerilhadora. O gabarito é uma ferramenta manual que é posicionada sobre o boleto do trilho a ser esmerilhado e mostra qual deverá ser o padrão adotado pela máquina. Ao todo são vinte e cinco padrões possíveis de serem escolhidos, sendo a escolha de um deles em função do resultado verificado no gabarito. A escolha correta do padrão de esmerilhamento é fundamental porque irá definir: ângulo que os vinte e quatro rebolos irão esmerilhar o boleto, amperagem de cada motor dos rebolos, velocidade da máquina (km/h), entre outros parâmetros.

Fase 2 - Implementação dos padrões de esmerilhamento e perfis:

- Novos padrões de esmerilhamento e perfis de esmerilhamento foram inseridos no programa computacional da esmerilhadora (Figura 11).
- Testes básicos dos padrões de esmerilhamento foram efetuados para verificar a obtenção do perfil final do boleto do trilho desejado (Figura 12).

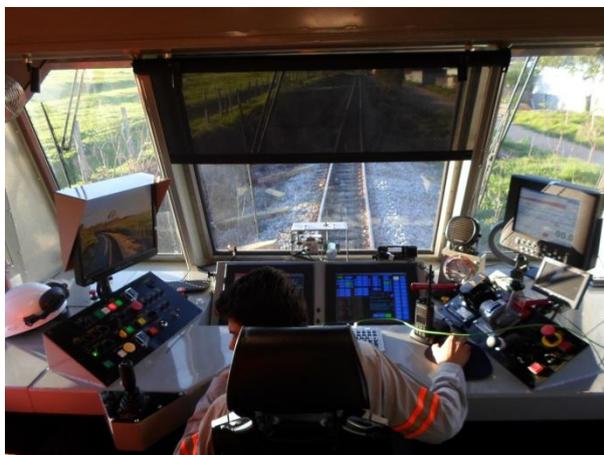


Figura 11 – Implantação dos padrões e perfis recomendados para a obtenção do contato roda-trilho ideal.

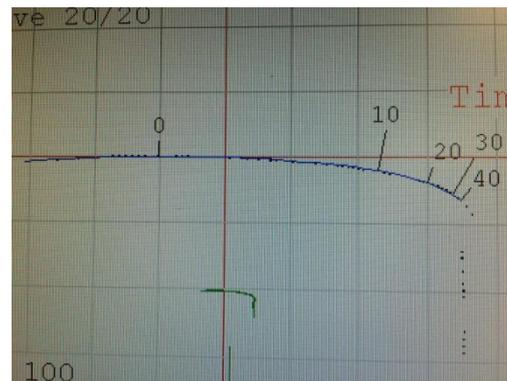
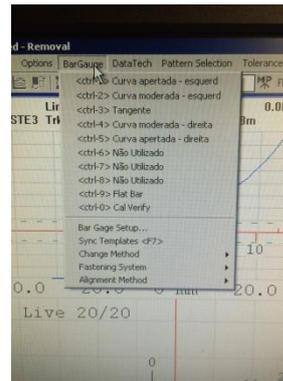


Figura 12 – Testes dos novos padrões e perfis recomendados.

Na segunda fase, realizada em março de 2015, realizou-se os testes e implantação dos gabaritos e padrões elaborados especialmente para as condições de operações ferroviárias da VLI, ou seja, carga geral (25ton/eixo) e curvas de raios apertados/moderados/tangentes. Os testes mostraram-se a contento, pois foi verificado que após o esmerilhamento do bolete de trilhos com perfil irregular (desgaste) e/ou defeitos/trincas superficiais, os mesmos apresentaram-se com os defeitos eliminados e com seu novo perfil propicia para se fazer um correto contato com as rodas como foi mostrado na Figura 12.

Fase 3 - Avaliação dos resultados do esmerilhamento:

- A equipe da Harsco Rail e da Engenharia VLI inspecionarão em aproximadamente um ano após a implementação inicial dos trabalhos para quantificar a eficácia dos novos padrões de esmerilhamento e perfis de trilhos.

5 CONCLUSÃO

Com a implantação deste trabalho, espera-se obter como principais resultados:

- Diminuição do desgaste e de incidência de defeitos superficiais no boleto dos trilhos.
- Diminuição do desgaste e de incidência de defeitos superficiais nas rodas das locomotivas e vagões.
- Aumento na segurança operacional ferroviária: redução de ocorrências ferroviárias provocadas por abertura de bitola, descarrilhamento e fratura de trilhos.

REFERÊNCIAS

- [1] Zarembski, A.M. – The art and science of rail grinding. EUA. Agosto/2005.
- [2] Manual técnico de Via Permanente. Revisão 2009.
- [3] Viana, T.G. – Inspeções suporte para a definição de estratégia para esmerilhamento de trilhos na VLI. 2013.
- [4] Kalousek, J. – The Magic Wear Rate / Railway track and structure. 1997.
- [5] Lewis, R. e Olofsson, U. – Wheel-rail interface handbook. 2009.
- [6] Stanford, J., Sroba, P. e Magel, E.E. – Burlington Northern Santa Fe preventive gradual grinding initiative. EUA. Chicago, Illinois. Setembro/1999.