

Avaliação da qualidade da correção geométrica

Arthur Bilheri^{1*}, Osvane Luiz², Leonardo Cremonezzi², Bruno Reis²

¹ Gerência de confiabilidade de ativos – MRS Logística, Av. Brasil, 2001, 36060-010

² Gerência de Operação de Equipamentos de Via – MRS Logística, Av. Brasil, 2001, 36060-010

arthur.bilheri@mrs.com.br, osvane.luiz@mrs.com.br, leonardo.cremonezzi@mrs.com.br,
bruno.reis@mrs.com.br

As socadoras utilizadas no processo de correção geométrica da MRS Logística possuem equipamentos que registram os parâmetros geométricos da via, antes e depois da operação de correção geométrica. Esse equipamento faz o cálculo de defeitos e das correções geométricas necessárias para aquele trecho, a partir das entradas do operador. É possível extrair os dados em formato de texto, para análise em softwares do tipo planilhas eletrônicas.

Utilizando os dados do equipamento embarcado e trabalhados em planilha eletrônica, é possível avaliar a redução de defeitos no trecho trabalhado, índices de qualidade da via antes e depois, verificando assim, a eficiência daquela correção. É possível, até mesmo, utilizar a socadora para geração de relatórios sobre geometria em determinado trecho.

Reunindo dados de várias operações, realizadas por equipamentos diferentes é possível acompanhar a eficiência de determinada máquina, estabelecer a curva de recuperação da qualidade da via por trecho e avaliar a produtividade das socadoras, além de identificar possíveis desvios no equipamento ou em seus sistemas, ou no processo de correção geométrica.

Palavras-Chaves: Via Permanente, Correção geométrica, Avaliação da qualidade da via

1. INTRODUÇÃO

A superestrutura ferroviária é composta por diversos componentes, sendo os principais: trilhos, fixações, dormentes, palmilhas e lastro. Para garantir a segurança durante a circulação dos trens estes componentes devem ser inspecionados frequentemente para verificar se atendem aos limites de segurança estabelecidos em normas nacionais [1] e internacionais [2].

Estes limites são estabelecidos de acordo com a classe da via permanente. Por sua vez, a classe é definida com base na velocidade máxima dos trens e o volume anual transportado por aquela linha, variando de 1 a 5, sendo 1 a classe com menor velocidade máxima e 5 a classe com maior velocidade máxima. Quanto maior a velocidade, mais rígidos são os limites de segurança. Quando os valores medidos ultrapassam estes limites, diz-se que existe um defeito e restrições de velocidade ou interdições devem ser impostas, até que seja feita a manutenção e o parâmetro seja adequado aos limites estabelecidos como seguros, retirando-se o defeito do trecho.

1.1 Geometria da via permanente

Por geometria da via permanente entende-se os elementos necessários para garantir aos veículos ferroviários segurança, estabilidade e um movimento suave durante sua passagem sobre a via permanente.

Assim como o projeto geométrico, a geometria da via permanente deve ser avaliada no plano horizontal, longitudinal e transversal. No plano horizontal é necessário verificar o alinhamento da via permanente. No plano longitudinal, o nivelamento longitudinal e no plano transversal a superelevação, o empeno e a torção.

1.1.1 Alinhamento

O alinhamento é a variação de curvatura dos trilhos [2]. Consiste em garantir uma continuidade entre os elementos geométricos da via, sem que ocorram variações bruscas, que podem levar à descarrilamentos e desgaste prematuro dos componentes. O alinhamento é medido através da medição de flechas. Na Figura 1 vemos uma medição de

alinhamento em tangente, utilizando corda de 10m, onde (x) representa a flecha medida.

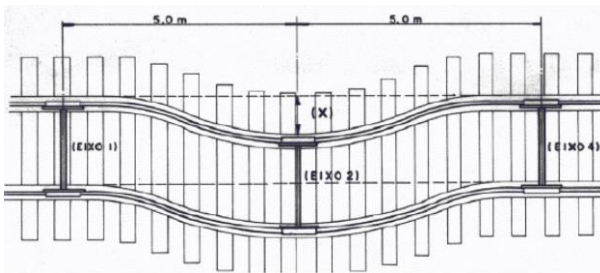


Fig 1. Medição do alinhamento

O diagrama de flechas de projeto de curvas obedece às seguintes relações: em tangentes a flecha deverá sempre ser zero; nas curvas de transição a variação das flechas é constante e nas circulares o valor das flechas é constante e diferente de zero.

A diferença dos valores de flecha medidos para os valores de projeto é chamada de desalinhamento e este valor deve ser comparado com os valores limite para a classe daquela via [2].

1.1.2 Nivelamento

O nivelamento é semelhante ao alinhamento, porém aplicado ao plano longitudinal, como visto na Figura 2.

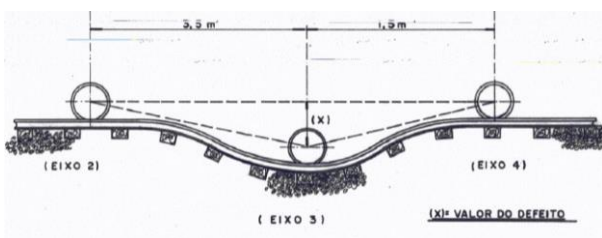


Fig 2. Medição do nivelamento

Diz-se que uma linha está nivelada quando não existem depressões ou pontos altos na via, que possam gerar alívio de rodas nos veículos ferroviários. Para a medição do nivelamento é utilizado, normalmente, um nível ótico.

1.1.3 Superelevação

A superelevação, ou nivelamento transversal, é a diferença de altura entre os trilhos, como vemos na Figura 3, utilizada em curvas para compensar o efeito da aceleração centrífuga, que aparece nos veículos quando se movimentam por uma curva [3].

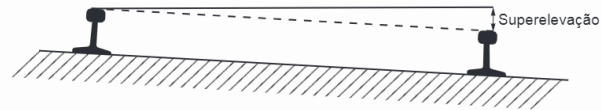


Fig 3. Superelevação

Nas tangentes, como não existe a força centrífuga, não é necessária a utilização da superelevação [3]. Entretanto podem aparecer pequenas diferenças oriundas da acomodação da via sobre o lastro devido à passagem dos trens, que também deve ser mantida dentro de limites pré definidos [1]. Nas curvas de transição o diagrama de superelevação deverá ter variação constante e nas circulares ser constante e diferente de zero, semelhante ao diagrama das flechas.

1.1.4 Torção

A torção é definida como a diferença de superelevação entre dois pontos, como visto na Figura 4.

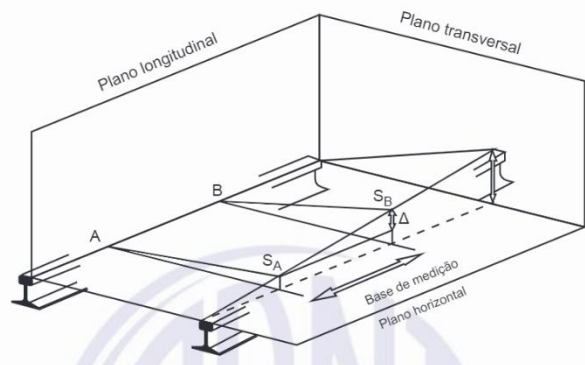


Fig 4. Torção

A distância linear entre esses pontos é chamada de base de medição. Também é chamada de variação do nivelamento transversal [1]. Na literatura americana é referido como Twist [2]. A base de medição mais utilizada é 10m, podendo ser utilizadas 2,5m ou 3m, a depender de características do material rodante e bitola. Em nenhuma das normas FRA é apresentado os limites de valores para este parâmetro, sendo apenas citado na versão de 2002 [4]. Apesar disso a NBR 16387 estabelece limites para ele. Para o cálculo deste parâmetro devem ser tomadas medidas de superelevação em distâncias regulares (estacas a cada 10m, 5m, 2m, 1m ou menos). Após a medição, tomando-se um ponto de referência efetua-se a subtração da superelevação neste ponto com um outro

situado 10 metros distante, obtendo-se o módulo do resultado da subtração, sendo este o valor da torção no ponto inicial.

1.1.5 Empeno

Empeno é definido como a máxima variação de superelevação entre dois pontos distantes até 20 metros. Na literatura americana é referido como Warp. Também é chamado de máxima variação do nivelamento transversal [1]. Para o cálculo deste parâmetro devem ser tomadas medidas de superelevação em distâncias regulares (estacas a cada 10m, 5m, 2m, 1m ou menos). Após a medição, travando-se um ponto inicial deverá ser feita a subtração da superelevação neste ponto com todos os valores dos pontos distantes até no máximo 20 metros do ponto inicial. Após todas subtrações calculadas, a máxima em módulo delas será o valor do empeno no ponto inicial.

2. A CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Correção geométrica é o processo que visa corrigir os defeitos de geometria existentes e garantir qualidade à via.

Ela ocorre com a movimentação lateral e vertical da grade, com a subsequente compactação do lastro abaixo dos dormentes (socaria), de forma a garantir o apoio para os mesmos [3]. Este processo pode ser feito de forma manual, quando a extensão a ser trabalhada é relativamente pequena, ou mecanizada, utilizando os equipamentos chamados Socadoras, Alinhadoras e Niveladoras, conhecidas apenas como socadoras. Elas realizam de uma vez só o trabalho de correção geométrica do alinhamento, nivelamento e superelevação da via [3]. Na Figura 5 vemos um destes equipamentos.



Fig 5. Socadora

O processo de correção geométrica se inicia com o levantamento da via a ser corrigida, feito previamente ao dia de trabalho da socadora. Neste levantamento devem ser medidos o alinhamento, a superelevação e o nivelamento da via em estacas de 10m. Com base neste levantamento é feito o projeto de correção geométrica do trecho. Este consiste em identificar os pontos notáveis da via (TE, EC, CE e ET), calcular os valores de flecha para restabelecer o correto alinhamento da via e calcular a superelevação baseada nas premissas passadas pela área de engenharia. De posse dos diagramas de flechas e superelevação são verificadas as taxas de variação das flechas e super nas transições e o comprimento mínimo dos elementos geométricos. Estes devem atender a limites definidos por cada ferrovia para prevenir o aparecimento de outros defeitos de geometria. Os valores de flecha, superelevação e nivelamento são marcados nos trilhos e dormentes para a equipe da socadora realizar a execução do projeto. Caso este levantamento seja feito de forma manual é necessário uma equipe de topografia de 6 pessoas, composta por 2 bandeiras, 3 ajudantes e 1 topógrafo, além de ser necessário intervalo sobre a via, caso estejam em local confinado. Após a execução da socaria é interessante que seja realizado outro levantamento, para verificação da qualidade do serviço, o que nem sempre é feito devido à disponibilidade de equipe.

3. OS REGISTRADORES DE EVENTOS

Para se reduzir custos com equipes de topografia e aumentar a segurança, retirando-se as equipes do trecho, as socadoras mais modernas são equipadas de computadores e sensores que realizam a medição do trecho e possibilitam que o próprio operador da socadora desenvolva o projeto de correção geométrica do trecho a ser trabalhado.

O processo de correção geométrica se inicia com a socadora já no local de trabalho, realizando uma viagem de medição do trecho. Esta viagem tem o objetivo de realizar o levantamento dos parâmetros necessários para a correção geométrica. Após a viagem de medição, vendo os diagramas dos valores medidos na tela do computador, o operador projeta que será executado. O projeto é simplificado, pois o computador é capaz de

realizar a maior parte dos cálculos que até então eram feitos manualmente, reduzindo a probabilidade de erros humanos e garantindo aderência às premissas definidas, devendo o operador inserir a estaca dos pontos notáveis baseado no diagrama de flechas e a velocidade do trecho, sendo a superelevação e seu respectivo diagrama calculado automaticamente.

Após o projeto é iniciada a etapa de execução da correção geométrica, com a máquina executando aquele projeto previamente estabelecido, sem que o operador precise ler os valores a serem utilizados marcados na linha.

Após a execução do trabalho é realizada uma viagem de conferência do serviço, para comparação com a medição inicial e validação do projeto executado, encerrando o processo de correção geométrica. Caso o computador identifique algum defeito ou região que não tenha sido aderente ao projeto, ele alerta o operador sobre a necessidade de correção daquele ponto.

Um outro benefício da utilização dos computadores é que eles fazem a leitura dos parâmetros em estacas de 1 metro, permitindo uma visão mais detalhada das condições da via e, conseqüentemente, um projeto mais adequado.

O computador é capaz de exportar os dados da viagem de medição, do projeto e da viagem de conferência, para que sejam avaliados pela equipe de qualidade da correção geométrica em escritório.

4. A CÉLULA DE QUALIDADE

No escritório, uma equipe de especialistas é responsável por avaliar e validar os dados recebidos das equipes de correção geométrica. Sobre esses dados são feitos cálculos de defeitos e de indicadores de qualidade. Os dados permitem comparação antes e depois da execução do serviço. Na Figura 6 vemos a região da planilha onde são mostrados os defeitos preventivos e corretivos, antes e depois do processo de correção geométrica.

Parâmetro	ANTES					DEPOIS						
	Preventivo		Corretivo		Maior valor encontrado	Estaca	Preventivo		Corretivo		Maior valor encontrado	Estaca
	Limite	Defeitos	Limite	Defeitos			Limite	Defeitos	Limite	Defeitos		
TORÇÃO (10 m)	25	4	33	0	44	77-361	25	0	32	0	36	77-354
EMPÍO (10 m)	48	0	52	0	57	77-362	48	0	51	0	23	77-360
MÁX. SUPER TANGENTE	37	0	44	0	33	77-409	37	0	44	0	32	77-509
MÁX. SUPER CURVA			85	0	42	77-452			45	0	50	77-456
MÁX. SUPER REVERSA	16	2	23	0	33	77-468	16	0	22	0	30	77-509
DESALINHAMENTO	32	31	44	0	39	77-393	32	0	44	0	35	77-403
NIV. ESQUERDO	51	0	57	0	44	77-471	51	0	57	0	38	77-472
NIV. DIREITO	51	0	53	0	57	77-478	51	0	57	0	22	77-452

Fig 6. Cálculo de defeitos antes e depois da etapa de correção geométrica

Neste arquivo de trabalho foram encontrados defeitos corretivos e preventivos de vários parâmetros na viagem de medição, antes da execução do trabalho. Estes defeitos foram corrigidos e não apareceram na viagem de conferência, após a execução do serviço.

Os dados são processados em um aplicativo de planilhas eletrônicas, onde são calculados automaticamente os defeitos, indicadores e gerados os gráficos necessários ao relatório para avaliação

4.1 Indicadores de qualidade

Os indicadores de qualidade avaliados são: o desvio padrão do alinhamento, o desvio padrão do nivelamento, conhecido como Índice de Qualidade da Via, a aderência à superelevação projetada e a redução nos defeitos encontrados.

O desvio padrão indica a variabilidade ou dispersão dos dados de uma determinada amostra. Ele é definido como a raiz quadrada positiva da variância e possui a mesma unidade dos valores observados.

Essas características fazem do desvio padrão uma medida interessante para avaliar a “suavidade” das irregularidades medidas ao longo de uma fila dos trilhos, pois quanto maior o desvio padrão, maior é a “rugosidade” daquela fila de trilhos.

Como a média dos parâmetros de alinhamento e nivelamento tendem a ser zero, utilizamos o desvio padrão calculado sobre toda a extensão trabalhada para avaliar sua dispersão [5].

Dessa forma o Índice Qualidade da Via (ou TQI) é calculado a partir da média entre os valores de nivelamento em cada fila de trilhos e então calculado o desvio padrão sobre todo o trecho medido.

A superelevação possui tolerância de $\pm 5\text{mm}$ daquilo que foi projetado pelo operador para ser considerada aderente ao projeto. A aderência da superelevação verifica qual a extensão do trecho trabalhado ficou abaixo, aderente ou acima do valor projetado, comparando-se os valores antes e depois da correção geométrica para obter sua taxa de variação. Na Figura 7 vemos um quadro com estes indicadores de qualidade para uma ordem de serviço de correção geométrica.

ANÁLISE				
		Antes	Depois	Varição
Aderência super projetada	Abaixo	49%	47%	-5%
	Dentro	26%	51%	98%
	Acima	25%	2%	-92%
DesvPad Alinh.		23.787	9.002	-62%
TQI		17.795	6.098	-66%

Fig 7. Análise dos indicadores de qualidade

A análise do quadro mostra que a extensão com superelevação abaixo do projetado reduziu 5%, sendo 51% a extensão final aderente a superelevação e apenas 2% do trecho trabalhado teve superelevação acima do projetado. Apesar do desvio padrão do alinhamento e do TQI estarem altos, sua redução foi significativa. Este trecho está planejado para receber um segundo passe de socaria para que seja entregue ao tráfego.

4.2 Relatório de correção geométrica

O relatório de correção geométrica é um gráfico inspirado naqueles gerados pelo carro controle, que permitem de forma visual comparar a condição da via antes e depois do serviço e com o projeto executado pelo operador. Na Figura 8a vemos os gráficos de alinhamento, flecha e superelevação e na Figura 8b os gráficos de Empeno, Torção e Nivelamentos.

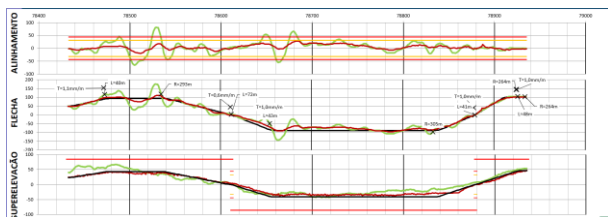


Fig 8a. Gráficos de Alinhamento, Flecha e superelevação.

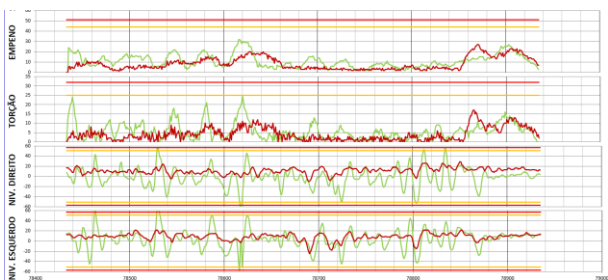


Fig 8b. Gráficos de Empeno, Torção e nivelamentos

A linha verde escura é a medição antes do trabalho, a linha vermelha a medição após o serviço e a linha preta o projeto. As linhas horizontais vermelhas e amarelas indicam os limites preventivos e corretivos daquele parâmetro. Sempre que as medições ultrapassam esses limites é considerado um defeito. No gráfico de alinhamento temos informações de raio das curvas, comprimento das transições e taxa de variação de super. Os parâmetros de empeno e torção não são projetados pelo operador, sendo apenas calculados para verificação de defeitos. O valor de projeto do nivelamento e alinhamento é sempre zero.

Através da análise dos gráficos são verificadas condições que escapam à análise dos indicadores, como pontos fixos onde não foi possível executar a correção geométrica, taxa das rampas de superelevação e flechas etc. Além disso, é possível verificar os pontos exatos onde ocorreram os defeitos, utilizando linhas horizontais para indicar os limites estabelecidos para aquele trecho.

Caso tenha sido encontrado algum desvio na análise do relatório de correção geométrica, é possível realizar a reprogramação do serviço, com consequente retrabalho. No caso de não haver sido encontrado nenhum desvio no trecho, o relatório de aceite do serviço é enviado para os responsáveis e a ordem de serviço dada como concluída. Dessa forma o processo da correção geométrica é encerrado baseado nos dados obtidos da condição do trecho logo após o serviço executado

4.3 Acompanhamento da qualidade

Após a análise dos relatórios individuais das operações de correção geométrica os dados mais relevantes de cada relatório, são imputados em uma planilha de banco de dados, que permite uma análise integrada de todas as operações.

Atualmente, existe um acompanhamento quinzenal da qualidade da correção geométrica, onde são verificados se os relatórios foram entregues dentro do prazo pela equipe de campo e são avaliadas as tratativas para os relatórios que apresentaram algum desvio, envolvendo outras áreas da companhia, caso seja necessário.

Deste banco de dados são extraídas avaliações por equipamento, por corredor ou por parâmetro, que permitem detectar, por exemplo, caso algum equipamento tenha

tendência de apresentar mais defeitos de um parâmetro específico ou caso algum trecho esteja com taxa de recuperação abaixo do previsto.

5. GANHOS OBTIDOS

O principal ganho obtido na avaliação da qualidade da correção geométrica é um maior controle sobre o processo, permitindo-se a validação do serviço executado e a rápida atuação, caso tenha sido encontrada alguma irregularidade no processo, além de garantir a documentação dos serviços executados para análises e investigações futuras.

Desde 2019, quando foi iniciado o piloto da avaliação de qualidade, houve um aumento de 11% no número de ordens de serviço que não deixaram algum defeito no trecho, como visto na Figura 9.

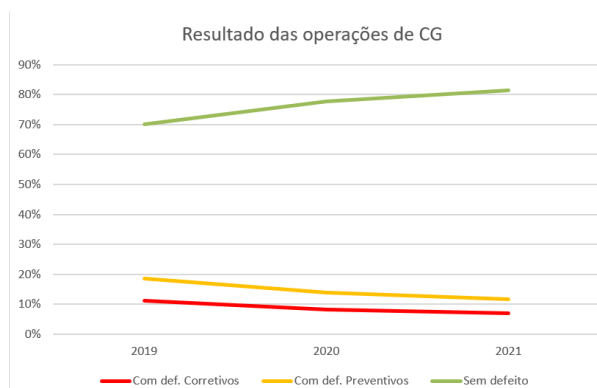


Fig 9. Evolução das ordens de serviço de 2019 a 2021

Além disso, através da análise dos gráficos dos serviços executados por determinado equipamento é possível identificar possíveis desvios que indicam a necessidade de calibração.

6. PRÓXIMOS PASSOS

O envio dos dados extraídos dos equipamentos é feito de forma manual, enviado por email e processado em aplicativo de planilhas eletrônicas e os arquivos salvos em um drive de rede, fazendo com que a análise deva ser feita arquivo por arquivo, sujeita a falhas humanas no processamento dos dados e sem vínculo com o sistema de gestão da companhia.

Está sendo estudado uma forma de processamento automático dos dados após o envio para um local em nuvem. Com este

processamento automatizado serão evitados erros humanos e haverá economia de homem-hora no processamento. Além disso, será possível criar um repositório de todas as medições, que poderão ser acessadas através de navegador web, democratizando seu acesso na companhia por não depender de acesso aos drives de rede. Também é possível sua integração com o sistema de gestão da companhia, aumentando a rastreabilidade do processo como um todo.

7. CONCLUSÃO

A partir da instalação de registradores de evento nos equipamentos de correção geométrica eles se tornam uma fonte de dados preciosa para o acompanhamento do ciclo de vida da via permanente, além de permitir um maior controle no processo de correção geométrica, identificando desvios em tempo hábil para reprogramação de atividades.

Com a utilização dos registradores é possível ter ganhos reduzindo o número de equipes de topografia necessárias ao processo de correção geométrica, aumentando a segurança e qualidade do processo de forma geral.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a MRS Logística por apoiar a divulgação de trabalhos científicos e a toda equipe envolvida na célula de qualidade, sem a qual este trabalho não seria possível.

8. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 16387:2020 – Via Férrea – Classificação de vias
- [2] FRA – Federal Railroad Administration – Track Safety Standarts Compliance Manual – Chapter 5 – Março 2018
- [3] STEFFLER, F. *Via permanente aplicada: guia teórico e prático*. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [4] FRA – Federal Railroad Administration – Track Safety Standarts Compliance Manual – Chapter 5 – Janeiro 2002
- [5] MAROTTA, R. D. *Modelagem da degradação da superestrutura ferroviária e otimização na alocação de recursos para manutenção*. Juiz de Fora: [s.n.], 2016.