

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LARISSA COUTINHO ANDRADE  
LUCAS GONFINETTI CUKIER**

**PROPOSTA TÉCNICA PARA CORREÇÃO DE BITOLA DOS TRILHOS VISANDO  
REDUÇÃO DE CUSTO E O APERFEIÇOAMENTO DA VIA FERROVIÁRIA DA  
MRS LOGÍSTICA S.**

**VOLTA REDONDA, RJ  
2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PROPOSTA TÉCNICA PARA CORREÇÃO DE BITOLA DOS TRILHOS VISANDO  
REDUÇÃO DE CUSTO E O APERFEIÇOAMENTO DA VIA FERROVIÁRIA DA  
MRS LOGÍSTICA S.A**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Alunos: Larissa Coutinho Andrade  
Lucas Gonfinetti Cukier

Orientador: Prof. Esp. Rogério Nogueira Pereira

Coorientador: Prof. Me. Jesus Caldeira de A. Alencar

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2020**



Fundação Oswaldo Aranha



**Anexo 10**  
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso intitulado PROPOSTA TÉCNICA PARA A CORREÇÃO DE BITOLA DOS TRILHOS VISANDO REDUÇÃO DE CUSTO E O APERFEIÇOAMENTO DA VIA FERROVIÁRIA DA MRS LOGÍSTICA S.A.**

**Elaborado por LARISSA COUTINHO ANDRADE, Matrícula: 201610578; e LUCAS GONFINETTI CUKIER, Matrícula: 201720555, apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso Engenharia Civil.**

Aprovada em 21 de novembro de 2020.

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

ROGÉRIO NOGUEIRA PEREIRA, ESPECIALISTA, UniFOA

Professor Avaliador

SÉRGIO LUIZ TARANTO DE REIS, MESTRE, UniFOA

Professor Avaliador

SÉRGIO ROBERTO MONTORO, DOUTOR, UniFOA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, nossas famílias e a todos que nos apoiaram ao longo da vida acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos nossa família por todo apoio durante o curso. Aos professores Rogério Nogueira Pereira por orientar e Jesus Caldeira de Alencar Alvarenga por coorientar nosso projeto, compartilhando vossos conhecimentos em prol de nosso crescimento profissional, agradecemos também a MRS Logística S.A. pela grande oportunidade de disponibilizar seus dados para desenvolvimento do trabalho.

Larissa Coutinho Andrade

Lucas Gonfinetti Cukier

## RESUMO

A ferrovia é um sistema composto pelo material rodante e a via permanente, que se divide em superestrutura e a infraestrutura. Numa definição objetiva, o termo geometria de via se refere à posição que cada fila de trilho ocupa no espaço, portanto os parâmetros geométricos da ferrovia são elementos fundamentais para determinação da qualidade e segurança operacional do trecho ferroviário. O presente trabalho tem como objetivo determinar os principais parâmetros geométricos existentes na linha férrea, os defeitos decorrentes dos mesmos e as principais manutenções executadas em via permanente, além disso, inclui-se uma proposta técnica de correção para o defeito de bitola aberta, visando a redução de gastos e aprimoramento da via. Para a realização do projeto foram feitas pesquisas bibliográficas em artigos científicos, livros, manuais técnicos e um estudo de caso realizado no trecho sob concessão da MRS LOGÍSTICA S.A. Posto isso, foi analisado a existência de defeito referente ao parâmetro geométrico definido (bitola), a fim de propor uma solução viável de intervenção preventiva, considerando o custo-benefício a longo prazo para empresa. Após a proposta de solução encontrada, foi demonstrado o passo a passo da atividade definida como manutenção. Constatou-se que, após o serviço final, os resultados foram eficazes para correção do defeito de bitola aberta no local, visto que os mesmos estão de acordo com a norma vigente da empresa. Sendo assim, é válido afirmar a importância da periodicidade de inspeção na via férrea.

**Palavras-chave:** Ferrovia; via permanente; geometria; segurança; trilhos

## ABSTRACT

The railroad is a system composed of the rolling stock and the permanent track, which is divided into superstructure and infrastructure. In an objective definition, the term track geometry refers to the position that each track row occupies in space, so the geometric parameters of the railway are fundamental elements for determining the quality and operational safety of the railway section. The present work has as objective to determine the main geometric parameters existing in the railroad, the defects resulting from them and the main maintenance carried out in a permanent way, besides, it includes a technical proposal of correction for the defect of open gauge, aiming at the reduction of expenses and improvement of the road. In order to carry out the project, bibliographic searches were carried out on scientific articles, books, technical manuals and a case study carried out on the stretch under concession by MRS LOGÍSTICA SA Having said that, the existence of a defect regarding the defined geometric parameter (gauge) was analyzed, in order to propose a viable preventive intervention solution, considering the long-term cost-benefit for the company. After the proposed solution found, the step by step of the activity defined as maintenance was demonstrated. It was found that, after the final service, the results were effective in correcting the open gauge defect at the site, since they are in accordance with the current regulation of the company. Therefore, it is valid to affirm the importance of the periodicity of inspection on the railroad.

**Keywords:** Railroad; permanent route; geometry; security; rail

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 Problema Abordado .....	18
1.2 Justificativa.....	19
1.3 Estratégia de Pesquisa .....	19
1.4 Objetivo Geral.....	20
1.4.1 Objetivos Específicos .....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 As Estradas de Ferro no Brasil .....	21
2.2 Características da Via Permanente Ferroviária .....	22
2.2.1 Infraestrutura da Ferrovia.....	22
2.2.1.1 Terraplenagem.....	23
2.2.1.2 Sistema de Drenagem na Ferrovia.....	24
2.2.1.3 Obras de Arte Especiais (OAE) .....	25
2.2.2 Superestrutura Ferroviária .....	26
2.2.2.1 Sublastro.....	27
2.2.2.2 Lastro .....	27
2.2.2.3 Dormentes.....	29
2.2.2.3.1 Dormentes de Madeira .....	30
2.2.2.3.2 Dormentes de Aço.....	31
2.2.2.3.3 Dormentes de Concreto .....	32
2.2.2.4 Trilhos .....	34
2.2.2.5 Acessórios de Fixação.....	36
2.3 Geometria de Via .....	38
2.3.1 Planimetria .....	39
2.3.2 Altimetria.....	40
2.3.3 Parâmetros Qualitativos de Geometria de Via Permanente .....	41
2.3.3.1 Superelevação .....	41
2.3.3.2 Bitola .....	41
2.3.3.3 Bitola Aberta .....	42
2.3.3.4 Bitola Fechada .....	43
2.3.4 Flecha ou Alinhamento .....	44
2.3.5 Nivelamento Longitudinal.....	45
2.3.6 Nivelamento Transversal .....	46

<b>2.3.7 Torsão e Empeno .....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.8 Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos de Via Permanente.....</b>	<b>49</b>
<b>2.3.9 Manutenção na Via Permanente .....</b>	<b>50</b>
<b>2.3.9.1 Manutenção Corretiva.....</b>	<b>51</b>
<b>2.3.9.2 Manutenção Preventiva .....</b>	<b>52</b>
<b>2.3.9.3 Manutenção Preditiva .....</b>	<b>53</b>
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>56</b>
<b>3.1 Caracterização da Empresa.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2 Seleção do Trecho Analisado .....</b>	<b>58</b>
<b>3.3 Definição do Monitoramento para Medição da Bitola .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4 Análise dos Resultados Gerados .....</b>	<b>60</b>
<b>3.5 Definição do Serviço Preventivo.....</b>	<b>62</b>
<b>3.6 Execução Prática do Serviço de Manutenção Preventiva .....</b>	<b>68</b>
<b>3.6.1 Execução Prática do Serviço de Manutenção Preventiva .....</b>	<b>68</b>
<b>3.7 Resultados Obtidos Após Implantação do Dormente de Aço.....</b>	<b>77</b>
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>79</b>
<b>5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes da Via Permanente Ferroviária.....	23
Figura 2: Terraplenagem 1º Batalhão Ferroviário. ....	24
Figura 3: Valeta de drenagem ferroviária - Ferrovia do Aço.....	25
Figura 4: Sistema de drenagem na MRS Logística S.A - Ferrovia do Aço. ....	25
Figura 5: OAE Viaduto 13, Vespasiano Corrêa (Rio Grande do Sul). ....	26
Figura 6: Componentes de Superestrutura da Via Permanente Ferroviária. ....	27
Figura 7: Lastro ferroviário.....	28
Figura 8: Dormentes na via ferroviária.....	29
Figura 9: Dormente de madeira ao longo da linha férrea. ....	30
Figura 10: Dormente de aço. ....	31
Figura 11: Dormente de concreto na via. ....	33
Figura 12: Corte da seção transversal de trilho tipo Vignole. ....	35
Figura 13: Acessórios de fixação. ....	37
Figura 14: Grampo Deenik.....	38
Figura 15: Grampo Fast-Clip para dormentes de aço. ....	38
Figura 16: Geometria em planimetria. ....	40
Figura 17: Componentes da altimetria. ....	40
Figura 18: Esquema de superelevação na ferrovia. ....	41
Figura 19: Representação de bitola na via.....	42
Figura 20: Representação de bitola aberta. ....	43
Figura 21: Representação de bitola fechada. ....	44
Figura 22: Flecha de via.....	45
Figura 23: Desnivelamento longitudinal da via. ....	46
Figura 24: Desnivelamento transversal da via.....	46
Figura 25: Desnivelamento transversal em tangente.....	47
Figura 26: Torção na linha férrea.....	47
Figura 27: Representação de empeno na via férrea.....	48
Figura 28: TrackStar sobre a linha férrea.....	54
Figura 29: Trolley sobre a linha férrea. ....	55
Figura 30: Régua de bitola e superelevação.....	55
Figura 31: Etapas do estudo de caso. ....	57

<b>Figura 32: Mapa da malha ferroviária da MRS Logística S.A. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 33: Localização da curva analisada. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 34: Gráfico de bitola estática e dinâmica. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 35: Dormente podres ao longo da via. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 36: Dormentes deteriorados ao longo da curva. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 37: Escavadeira CAT 315-D. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 38: Fardo de dormente de aço. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 39: Medição e marcação do espaçamento dos novos dormentes. ....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 40: Remoção do lastro e vegetação da via. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 41: Abertura da cava. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 42: Remoção do dos acessórios de fixação. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 43: Deslizamento da placa de apoio. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 44: Extração da placa de apoio. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 45: Extração do dormente de madeira. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 46: Inserção do dormente de aço na cava. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 47: Ajustes nos componentes de fixação. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 48: Dormente de aço intercalado com madeira ao longo da via. ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 49: Dormentes de aço ao longo da via. ....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 50: Gráfico de bitola sem carga após a implantação do aço. ....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Classificação de trilhos no Brasil.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 2: Tolerância de parâmetros de geometria de via.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 3: Cálculo da média aritmética dos valores gerados.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 4: Preço unitário em Reais do dormente de madeira.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 5: Preço unitário em Reais de cada acessório de fixação.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 6: Custo em Reais das atividades de substituição de novos dormentes de madeira. ....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 7: Custo total para substituição de dormentes de madeira .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 8: Preço unitário em Reais para unidade de dormente de aço.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 9: Custo em Reais da atividade de substituição de dormente de madeira para aço.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 10: Custo total da atividade de substituição de dormente de madeira para aço.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 11: Quantidade de acessório de fixação por dormente.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabela 12: Preço total dos dormentes de madeira.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 13: Valor de cada acessório por dormente.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 14: Custo da atividade de substituição de dormente. ....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 15: Custo da atividade de correção de bitola. ....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 16: Custo final da atividade de dormentes de madeira. ....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 17: Preço total dos dormentes de aço. ....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 18: Custo da atividade de implantação de dormente de aço. ....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 19: Custo final da atividade de dormentes de madeira. ....</b>	<b>90</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos materiais de dormentes na ferrovia.</b>	
.....	<b>34</b>
<b>Quadro 2: Classificação dos tipos de classes na ferrovia da MRS Logística S.A.</b>	
.....	<b>59</b>

## **LISTA DE SIGLAS**

**% - Porcento**

**A – Ponto Início da Curva**

**ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas**

**B – Ponto final da Curva**

**BCC – Bitola Com Carga**

**BSC – Bitola Sem Carga**

**c – Corda**

**C0 – Curva Zero**

**C1 – Curva Um**

**C2 – Curva Dois**

**cm – Centímetro**

**D – Ponto Centro da Curva**

**DNIT – Departamento de Infraestrutura de Transportes**

**EFC – Estrada de Ferro Carajás**

**EP1 – Empeno em P1**

**f – Flecha**

**FCZ – Pátio Ferroviário de Cruzeiro**

**FEPASA – Ferrovia Paulista Sociedade Anônima**

**FERROBAN – Ferrovia Bandeirantes**

**FRA – Federal Railroad Administration**

**FVQ – Pátio Ferroviário de Vila Queimada**

**ISF – Instruções de Serviços Ferroviários**

**i0 – Declividade Zero**

**i1 – Declividade Um**

**kg/m – Quilograma por metro**

**kgf – Quilogramas Força**

**kgf/dm<sup>3</sup> - Quilograma Força por Decímetro Cúbico**

**km – Quilômetro**

**km/h – Quilômetro por Hora**

**km<sup>2</sup>– Quilômetro Quadrados**

**m – Metro**

**mm – Milímetro**

**NBR – Norma Brasileira**

**NBR – Norma Brasileira**

**OAE – Obra de Arte Especial**

**PND – Programa Nacional de Desestatização**

**R\$ – Reais**

**RFFSA – Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima**

**SEa – Maior Superelevação**

**SEb – Maior Superelevação Negativa ou Menor Positiva**

**T0 – Tangente Zero**

**T1 – Tangente Um**

**TP1 – Torsão em P1**

**VMA – Velocidade Máxima Autorizada**

## LISTA DE APÊNDICES

<b>Apêndice A – Cálculo: Custo de Atividade de Substituição de Novos Dormentes de Madeira.....</b>	<b>86</b>
<b>Apêndice B – Cálculo: Custo de Atividade de Substituição de Dormentes de Madeira para o Aço.....</b>	<b>89</b>
<b>Apêndice C – Cálculo: Comparativo entre os Custos das Atividades Preventivas.....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1: Torsão em P1.....48

Equação 2: Empeno em P1.....49

## 1 INTRODUÇÃO

A busca da sociedade mundial em transportar a maior quantidade de bens materiais em um tempo reduzido, está ligado diretamente com o surgimento do transporte ferroviário (IPEA, 2010).

As primeiras estradas de ferro no cenário mundial tiveram início na Inglaterra, no ano de 1814, quando o engenheiro, *Jorge Stephenson* idealizou o projeto de fazer com que uma máquina a vapor tracionasse uma pequena quantidade de vagões. Essa primeira inovação recebeu o nome de *The Rokat* (BRINA, 1988).

No Brasil, o sistema ferroviário surgiu nos tempos do Império. A primeira concessão ferroviária teve como característica a construção da Estrada de Ferro Rio – Petrópolis, que foi inaugurada no ano de 1854, pelo político da época, Barão de Mauá (IPEA, *op.cit*, 2010).

Nos últimos anos, o Brasil se tornou um país exportador de commodities de grande escala. Quase 50% das exportações brasileiras estão concentradas em produtos que necessitam ser transportados por longas distâncias, das regiões de onde são produzidos para os portos e posteriormente para o exterior.

No país, existem 12 concessões ferroviárias, o que resultou no aumento da participação desse modal de 19% para 28% das movimentações de carga. A rede ferroviária brasileira, ainda assim, possui pouca extensão, cerca de 29.291 quilômetros (km) concentradas nas regiões Sul, Sudeste e uma pequena parte no Nordeste (MIGUEL, 2015; REIS, 2015).

A questão ferrovia e rodovia foi realçada pela greve dos caminhoneiros ocorrida em 2018, um alerta que ressaltou a importância do transporte de carga ferroviário para o Brasil. Contudo, o governo pretende retomar a construção de ferrovias, especialmente, para o escoamento da produção agropecuária (CARDIM, 2018).

O meio de transporte ferroviário tende a ser mais competitivo comparado ao rodoviário. Por exemplo um vagão graneleiro, com capacidade de carga de cem toneladas, consegue substituir aproximadamente 3,57 caminhões (CASTRO, 2014; MALBURG, 2014; MESENTIER, 2014; VAZ, 2014; SOUZA, 2014).

A ferrovia de modo geral, é composta basicamente por dois subsistemas, sendo o de material rodante, composto por vagões e locomotivas, e a via permanente, que se divide em infraestrutura e superestrutura ferroviária (STEEFLER, 2013).

O fator fundamental para o bom desempenho da ferrovia é a geometria de via permanente, no qual é composta basicamente por dois elementos geométricos, sendo a altimetria, referente ao perfil do *grade* da via, e a planimetria, onde as curvas e as tangentes são analisados em planta (NABAIS, 2014).

O tráfego das composições sobre a linha férrea provoca grandes alterações e deformações na geometria da via sendo, portanto, essencial proceder-se a correção sempre que necessário, a fim de evitar acidentes como descarrilamento do material rodante. Para que a via férrea seja mantida em um estado de conservação e integridade, no qual possa realizar todas as suas funções de forma eficiente, é fundamental realizar todos os tipos de intervenções para que se tenha uma manutenção segura (BORGES NETO, 2012).

A frequência de acidentes que envolvem veículos ferroviários é inferior comparado a outros modais, porém o nível de gravidade é bastante elevado. As consequências desses acidentes podem gerar problemas sérios ao meio ambiente, a segurança das pessoas, prejuízo econômico das empresas devido ao atraso das entregas aos clientes e danos na via permanente e no material rodante (CARMO, 2006).

Devido ao aumento na circulação de trens de carga das empresas ferroviárias os custos com as manutenções estão cada vez maiores e as atividades se tornam funções estratégicas fundamentais à Companhia. (SILVA, E., 2006).

## **1.1 Problema Abordado**

Composições mais longas e pesadas ampliam a produtividade da ferrovia, mas dependem de características geométricas favoráveis, decisivas na redução de acidentes, de desgastes e de manutenção. Frente a isso, é possível identificar as anomalias provenientes do parâmetro geométrico de bitola da via e propor uma solução que possa reduzir os custos com manutenção a médio e longo prazo e

acidentes na linha ferroviária?

## **1.2 Justificativa**

Os elementos de geometria da via permanente são essenciais para contribuir com a segurança operacional da ferrovia. Diante disso, conhecer os parâmetros geométricos que definem a linha férrea e identificar os seus defeitos através inspeções periódicas, são fundamentais para minimizar possíveis acidentes. A partir da manutenção preditiva é possível identificar o momento mais apropriado para realização de uma intervenção preventiva, contudo, os custos elevados com os serviços de manutenção impactam diretamente na despesa total da atividade. Portanto, analisar as possíveis alternativas de manutenção para a via e minimizar os custos a médio e longo prazo é primordial para o bom desempenho técnico e financeiro da empresa.

## **1.3 Estratégia de Pesquisa**

De acordo com Prodanov (2013), essa pesquisa pode ser considerada como exploratória, pois tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto, possibilitando sua definição e delineamento através de formas de levantamento bibliográfico e estudo de caso.

Para realizar o presente estudo, foi utilizado livros, artigos científicos e manuais técnicos como referências bibliográficas. Além disso, incluiu-se um estudo de caso referente a análise do parâmetro geométrico de bitola, no trecho ferroviário localizado no ativo FVQFCZ (Pátio Ferroviário de Vila Queimada e Pátio Ferroviário de Cruzeiro), entre as cidades de Lavrinhas e cidade de Cruzeiro, estado de São Paulo, linha sob concessão da MRS Logística S.A.

## **1.4 Objetivo Geral**

Apresentar uma correção para o defeito do parâmetro geométrico de bitola na curva que se localiza no ativo de FVQFCZ (Pátio Ferroviário de Vila Queimada e Pátio Ferroviário de Cruzeiro) sob concessão da MRS Logística S.A, considerando soluções viáveis a longo prazo para redução de gastos com a manutenção preventiva e possíveis acidentes ferroviários.

### **1.4.1 Objetivos Específicos**

- Descrever os principais parâmetros que definem a geometria de via permanente ferroviária e identificar os tipos de anomalias existentes provenientes dos mesmos.
- Apontar os principais tipos de manutenções na via permanente.
- Realizar um estudo de caso a fim de analisar o parâmetro geométrico bitola em um trecho designado sob concessão da MRS Logística S.A.
- Apresentar uma proposta para correção do defeito encontrado, considerando a redução de custos com manutenção.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante a revisão bibliográfica será possível identificar os parâmetros geométricos que definem a qualidade da linha férrea, seus defeitos e quais são os principais tipos de manutenções realizadas em via permanente.

### 2.1 As Estradas de Ferro no Brasil

Em 1835, Diogo Antônio Feijó, regente da época, declarou uma lei, que oferecia favores para construção de uma estrada de ferro que ligaria as cidades de Rio de Janeiro à Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia. Entretanto, os empresários da época não se interessaram, por ser uma situação de grande risco econômico.

Em 1852, surgiu a figura intrépida de Irineu Evangelista de Souza, mais tarde Barão de Mauá, que, exclusivamente por sua conta, pois subscreveu a quase totalidade necessário, construiu a ligação entre o Porto de Mauá (no interior da Baía de Guanabara) e a raiz da Serra (Petrópolis). Em 30 de abril de 1854, foi inaugurada a primeira Estrada de Ferro do Brasil, com 14,5 km de extensão (BRINA, *op.cit*, 1988, p.02).

Devido ao avanço no processo de industrialização, no início da década de 1950, ocorreu uma enorme demanda pelo tráfego de cargas, no qual foi necessário grandes investimentos em rodovias. Com isso, o sistema ferroviário foi deixado em segundo plano, o que acarretou inúmeras falências (CASTRO, 2014; MALBURG, 2014; MESENTIER, 2014; VAZ, 2014; SOUZA, 2014).

Em 1957, o governo decide estatizar companhias ferroviárias, dando início as empresas: Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA), que uniu 42 ferrovias e a Ferrovia Paulista Sociedade Anônima (FEPASA). Ambas tinham como objetivo principal eliminar os trechos ferroviários defeituosos e focar no transporte de cargas (IPEA, *op.cit*, 2010).

Devido as sucessivas crises nos anos de 1970 e 1980 o investimento no sistema ferroviário teve uma queda drástica, o que acarretou a deterioração da infraestrutura ferroviária e do próprio material rodante. O governo optou, dessa vez, pela privatização das ferrovias sob controle estatal. A RFFSA teve sua inclusão no Programa Nacional de Desestatização (PND), e seus ativos ferroviários foram

leiloados no ano de 1996, com isso a malha da FEPASA foi incorporada à RFFSA. No ano de 2007 a RFFSA foi oficialmente extinta. Atualmente, as principais ferrovias no país estão sob gestão de grandes empresas privadas (CASTRO, 2014; MALBURG, 2014; MESENTIER, 2014; VAZ, 2014; SOUZA, 2014).

A malha ferroviária brasileira alcançou um pouco mais de 3,3 km de linhas férreas por mil quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) de território em 2013 (CNT, 2013).

## **2.2 Características da Via Permanente Ferroviária**

A via permanente é a integração do sistema de infraestrutura e superestrutura, com a principal finalidade de guiar o tráfego da composição (locomotiva e vagões) de forma segura e eficiente (GHÉLERE, 2002).

### **2.2.1 Infraestrutura da Ferrovia**

A infraestrutura ferroviária é a formação da camada de plataforma da via permanente, que antecede a superestrutura (formada pelo sublastro, lastro, trilhos e dormentes), ela é composta pelo sistema de drenagem (valeta de contorno dos cortes, talude de corte, valeta e saia de aterro), conforme mostra a Figura 1, além das Obras de Arte Especiais (OAE), como pontes, viadutos e pontilhões. Além disso, a infraestrutura desempenha a função de absorver as tensões produzidas pelo tráfego dos veículos ferroviários (VIDON JÚNIOR, 2011).

Na execução de seu projeto é necessário considerar sua forma, constituição e as tensões às quais ela estará sujeita, dependendo esta da frequência do tráfego e da capacidade das composições que passarão sobre ela (LOURENÇO, 2014).

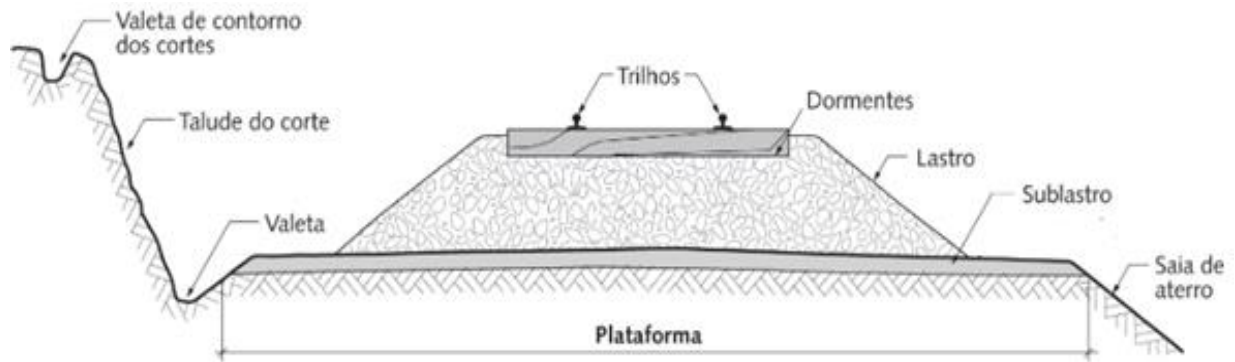


Figura 1: Componentes da Via Permanente Ferroviária.

Fonte: NABAIS, 2014.

### 2.2.1.1 Terraplenagem

A execução de terraplenagem é precedida pelo estudo do traçado da via, isto é, os estudos topográficos, geológicos, geotécnicos, bem como levantamentos de parâmetros hidrológicos da região. Ademais, se faz necessário um licenciamento ambiental da região afetada com um acompanhamento durante os projetos. Posteriormente, ocorre o início do projeto geométrico que visa caracterizar as diretrizes do traçado (RODRIGUES, H., 2014).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o órgão executor do Ministério dos Transportes. Ele é responsável por orientar a execução dos projetos de terraplenagem de acordo com as Instruções de Serviços Ferroviários (ISF, 211/2015), nas quais são determinadas as diretrizes e práticas adequadas para a execução dos serviços. Entre elas há as zonas de corte e aterros, seções transversais-tipo, orientação de terraplenagem e o projeto de preservação do meio ambiente (ISF 211, 2015). Conforme se nota na Figura 2, a execução da terraplenagem exige planejamento, posto que implica na contratação de maquinário, mão-de-obra, além do próprio estudo do terreno para que ocorra o levantamento dos parâmetros da via a serem adotados.



Figura 2: Terraplenagem 1º Batalhão Ferroviário.

Fonte: MONTEIRO, 2019.

### 2.2.1.2 Sistema de Drenagem na Ferrovia

O projeto de drenagem ferroviária é desenvolvido objetivando a preservação da via permanente, observando os efeitos que possam prejudicar sua função e diminuir a vida útil da estrutura, de modo a promover o escoamento de águas superficiais, além da drenagem de águas profundas e a transposição de talwegues (RODRIGUES,H., *op.cit*, 2014).

O acúmulo de água na plataforma da via pode desencadear o processo de degradação dos elementos que a compõem, culminando em erosões que desencadeiam acúmulos de materiais sob o lastro o que, por sua vez, prejudica o tráfego das composições. A drenagem da via torna-se, portanto, um dos principais mecanismos de conservação e prolongamento da vida útil da via permanente (SILVA, C., 2014). De acordo com a Figura 3 e Figura 4, é possível observar que o sistema de drenagem se apresenta como principal condição para retardar o processo de degradação do sistema ferroviário.



Figura 3: Valeta de drenagem ferroviária - Ferrovia do Aço.

Fonte: EVARISTO, 2019.



Figura 4: Sistema de drenagem na MRS Logística S.A - Ferrovia do Aço.

Fonte: EVARISTO, 2019.

### 2.2.1.3 Obras de Arte Especiais (OAE)

São consideradas Obras de Arte Especiais: pontes, viadutos, túneis, passagens, pontilhões, barragens e eclusas. Sua denominação ocorre devido a comparação com as construções residenciais comuns, haja vista que são essenciais para o desenvolvimento de determinada região e apresentam relevante magnitude e

consequente, expressividade. É possível observar na Figura 5, que as Obras de Arte Especiais não só traduzem as necessidades econômicas da época, como também demonstram estilo arquitetônico na região onde se localiza (CUNHA, 2014).



Figura 5: OAE Viaduto 13, Vespasiano Corrêa (Rio Grande do Sul).

Fonte: MARCO, 2019.

### 2.2.2 Superestrutura Ferroviária

O mecanismo de suporte do sistema roda-trilho da ferrovia é conhecido como superestrutura. Ela é desenvolvida para que possam ser realizadas trocas e manutenções sempre que necessário. A superestrutura ferroviária é constituída na camada de sublastro, na qual há a sequência do lastro, trilhos, acessórios de fixação e dormentes, como mostra a Figura 6 (BRINA, *op.cit*, 1988).

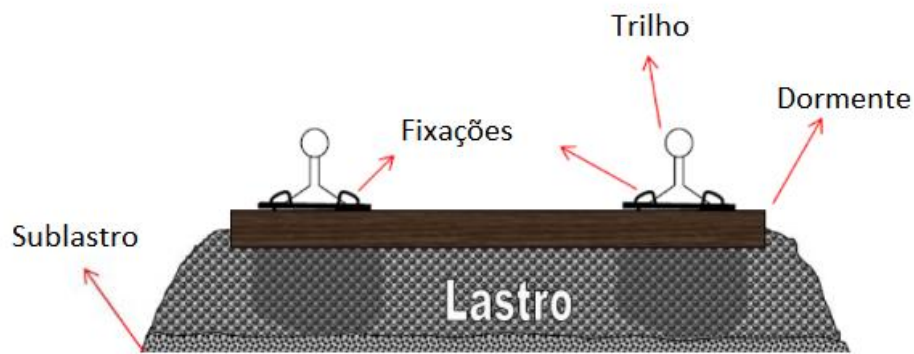


Figura 6: Componentes de Superestrutura da Via Permanente Ferroviária.

Fonte: Adaptado de MAIA, 2018.

### 2.2.2.1 Sublastro

O sublastro forma a primeira camada de material que sucede a plataforma, nas diretrizes estabelecidas pelo DNIT, especificamente no ISF 212/2015, seu projeto é desenvolvido para atender as seguintes características:

- a) Receber as tensões provenientes do lastro e transferi-los até a camada de formação da plataforma;
- b) Ampliar a capacidade de suporte de carga da plataforma, aumentando a taxa de trabalho da infraestrutura, possibilitando reduzir a camada de lastro e gerar uma economia de material;
- c) Evitar a penetração do lastro na plataforma;
- d) Facilitar a drenagem da via, reduzindo os riscos de erosão e à penetração de água;
- e) Proporciona elasticidade suficiente ao apoio do lastro, para que a via permanente não seja excessivamente rígida.

### 2.2.2.2 Lastro

O lastro é composto por britas, como pode ser visto na Figura 7. Sua camada tem como função receber e transmitir os esforços transversais e longitudinais da via permanente para o sublastro e, posteriormente, para o solo, promovendo a dissipação das tensões sem danificar a plataforma. Além disso, desempenha o papel de

aumentar a resistência elástica, atenuar as vibrações, corrigir as irregularidades e finalizar o nivelamento da plataforma. (GHÉLERE, *op.cit*, 2002).

A brita é o principal tipo de material utilizado na camada de lastro da ferrovia, pois apresenta em suas características boa resistência à abrasão dos agentes atmosféricos, químicos e auxilia na drenagem o que contribui na durabilidade dos materiais presentes na plataforma e principalmente de peças metálicas. A granulometria adotada para o lastro varia entre 2 1/2 polegadas, que equivale a 63,50 milímetros (mm), equivalente a uma brita de número 03 e 2,0 polegadas (50,80 mm), para brita de número 04, seu diâmetro auxilia na estabilidade da linha férrea, promove ancoragem eficiente para os dormentes e estimula uma drenagem eficiente para das águas superficiais até as canaletas laterais da via (EB 813/NBR 11460, 1980).



Figura 7: Lastro ferroviário.

Fonte: FERROVIA AREIA E PEDRA, 2013.

As rochas mais apropriadas para suprir as necessidades de operação da via devem ser devidamente analisadas. As pedras britadas devem resistir à abrasão do ambiente, elevadas forças de compressão e elevado peso específico. Os principais minerais com tais características são o granito, o diorito, o basalto, o gnaisse e o quartzito (VALE, 2009).

### 2.2.2.3 Dormentes

Os dormentes são como vigas em formatos geralmente prismáticas onde são fixados os trilhos ferroviários, localizadas sobre a camada do lastro sendo espaçadas uma das outras, no sentido transversal ao traçado da linha férrea, como mostra a Figura 8. Os dormentes transmitem ao lastro os esforços horizontais e verticais provenientes da passagem do material rodante sobre os trilhos, além disso desempenham funções como amortecimento e absorção de impactos do rolamento sobre a via. Os dormentes devem manter constantemente a bitola, garantindo a estabilidade da via (PORTO, 2004).

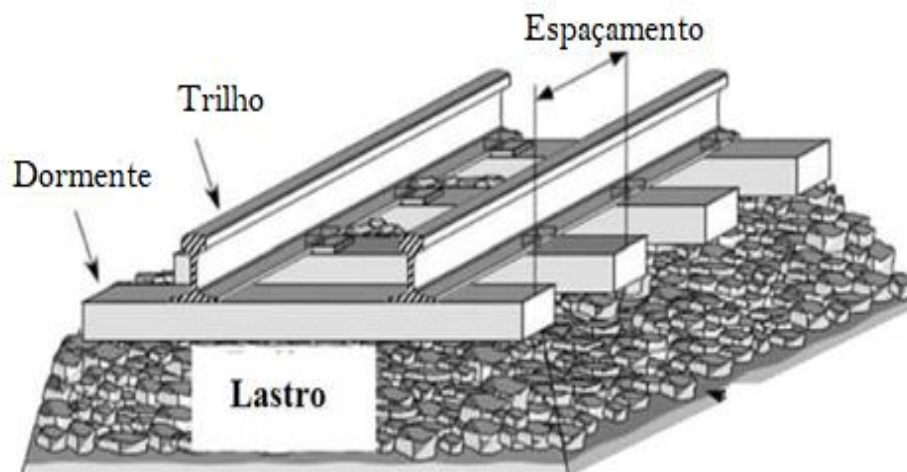


Figura 8: Dormentes na via ferroviária.

Fonte: Adaptado de NABAIS, *op.cit*, 2014.

A escolha e utilização do tipo de dormente empregado na ferrovia (madeira, aço ou concreto), é de suma importância, tendo em vista que, o seu desempenho deve obedecer aos parâmetros pré-estabelecidos como a carga por eixo do vagão, velocidade limite da via, volume de tráfego e o custo da manutenção de acordo com o plano estratégico da empresa sob concessão ferroviária (STEFFLER, *op.cit*, 2013).

### 2.2.2.3.1 Dormentes de Madeira

O dormente de madeira reúne as principais características para o bom desempenho do trilho e o conseqüentemente o tráfego da composição. A madeira apresenta qualidades como boa resistência, elasticidade e facilidade para a troca e inserção dos elementos de fixação. Além da qualidade do material, os fatores que influenciam na durabilidade do dormente são a boa preservação da via, a placa de apoio e o tráfego dos veículos (BORGES NETO, *op.cit*, 2012).

A Figura 9 demonstra a utilização do dormente de madeira nas ferrovias.



Figura 9: Dormente de madeira ao longo da linha férrea.

Fonte: MOURA, 2019.

A madeira antes de ser utilizada na via é submetida a ensaios em laboratório para conhecer a real resistência mecânica e suas características físicas na qual define os requisitos e métodos de ensaio (EB 101/NBR 7511, 2005).

Outro fator é a dimensão do dormente, na qual são definidos de acordo com a bitola utilizada na via, para bitola de 1600 mm é estabelecido como comprimento, largura e altura as dimensões de 2,80 x 0,24 x 0,17 metros (m) respectivamente e

para vias de bitola de 1000 mm as medidas são de 1,00 x 0,22 x 0,16 m de comprimento, largura e altura respectivamente (NB 11/NBR 7190, 1978).

A resistência mecânica da madeira varia de acordo com sua densidade o que é influenciado pela espécie e sua estrutura molecular, para madeiras nacionais adota-se 0,70 kgf/dm<sup>3</sup> como densidade mínima (NV3 250, 1978).

### 2.2.2.3.2 Dormentes de Aço

O dormente de aço é formado por uma única chapa, em formato de “U” invertido, curvado nas extremidades e fixados no lastro, impedindo o deslocamento transversal. A peça apresenta aproximadamente 70 quilogramas forças (kgf) o que facilita o seu manuseio. Este tipo de dormente é conhecido pelo seu método de fixação mais apurado, de modo que se faz necessário para a finalização de sua inserção na via o preenchimento de toda a sua base de apoio com lastro. Seu sistema de fixação é reforçado com chapas nervuradas e soldadas na base de apoio do patim dos trilhos, a fim de se evitar o surgimento de fissuras devido à fadiga da peça (BORGES NETO, *op.cit*, 2012).

A Figura 10 apresenta o corte longitudinal, seção transversal e a vista de cima do dormente de aço.

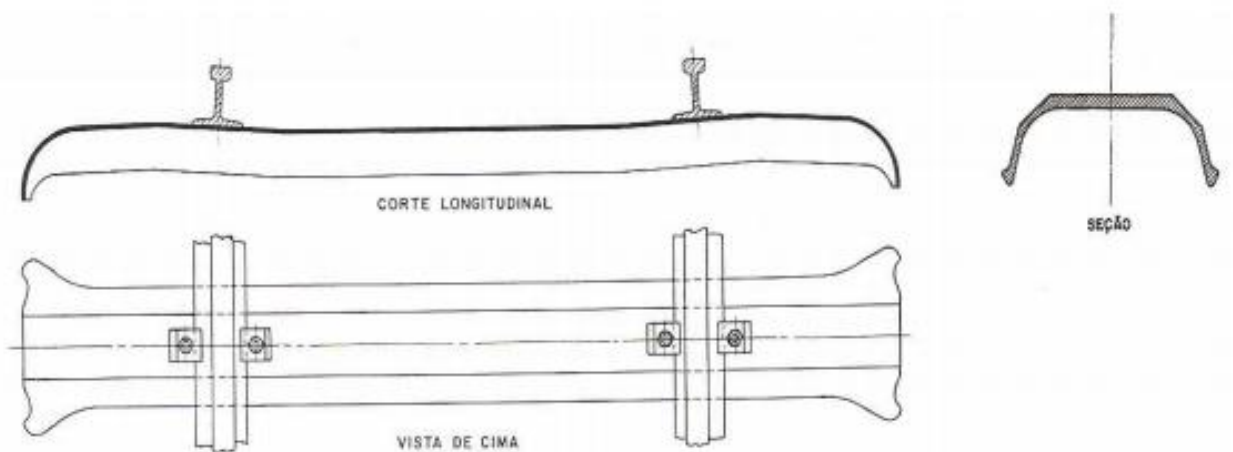


Figura 10: Dormente de aço.

Fonte: NABAIS, *op.cit*, 2014.

O dormente de aço apresenta propriedades mecânicas de acordo com o tipo de metal que é utilizado em sua fabricação, sendo assim, é classificado conforme sua composição, além de apresentar resistência variada. (EB 2123/NBR 11824, 1991).

A fabricação do dormente de aço é desenvolvida seguindo as diretrizes normativas do DNIT, nesta etapa é definida a bitola da peça a ser utilizada na via, adotando comprimento de 2000 mm para bitola métrica e 2800 mm para bitola larga, área da seção transversal, massa da peça, momento de inércia em referência ao eixo central do elemento, momento de resistência da fibra superior e da fibra inferior. O processo de fabricação é finalizado com a aplicação de um produto por toda a área da peça, criando uma camada de revestimento que proporciona proteção superficial e promove a dispersão da água (PB 1539/NBR 12477, 1991).

### **2.2.2.3.3 Dormentes de Concreto**

O dormente de concreto resulta em vias com melhor desempenho para a composição, manutenção reduzida e qualidade estrutural superior, o que proporciona o aumento na vida útil do material, sua utilização foi intensificada com o desenvolvimento do transporte ferroviário no Brasil, necessitando de vias mais eficientes e seguras (BASTOS, 1999).

As vantagens do dormente de concreto armado ou protendido quando comparado ao de madeira, enuncia sobre a redução do impacto ambiental, menor custo de manutenção com o nivelamento e alinhamento da via, resultando, assim, em uma via mais estável e uniforme (ISF 213, 2015).

A Figura 11 demonstra a utilização do dormente de concreto ao longo da ferrovia.



Figura 11: Dormente de concreto na via.

Fonte: ROSA, 2011.

Em relação a utilização dos materiais de dormentes utilizados na ferrovia, o Quadro 1 apresenta as vantagens e desvantagens dos materiais de dormentes de madeira, aço e concreto.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos materiais de dormentes na ferrovia.

MATERIAL	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>Madeira</b>	<p>Menor massa;</p> <p>Bons isolantes;</p> <p>Aproveitamento de dormentes usados;</p> <p>Elasticidade da via;</p>	<p>Ataque de fungos e insetos;</p> <p>Tratamento exige manter em estoque;</p> <p>Em condições ruins causam alargamento de bitola;</p> <p>Danos por impacto e intempéries;</p> <p>Vida útil de 5 a 14 anos;</p>
<b>Aço</b>	<p>Resistencia a impacto de descarrilhamentos quando assentados;</p> <p>Elimina problemas de abertura de bitola;</p> <p>Fácil manuseio;</p> <p>Leves (20 a 30 kg mais leve que o dormente de madeira);</p> <p>Favorável a lei ambiental (redução do impacto ambiental);</p> <p>Longa vida útil (40 a 50 anos);</p>	<p>Custo elevado no assentamento;</p> <p>Vulnerável a ambiente agressivo e tráfego ruidoso;</p> <p>Bom condutor de eletricidade;</p>
<b>Concreto</b>	<p>Invulneráveis a fungos;</p> <p>Material Isolante;</p> <p>Habilidade para manter a bitola;</p> <p>Resistencia a flambagem na via;</p> <p>Vida útil longa (50 anos);</p>	<p>Difícil manuseio durante a manutenção;</p> <p>Destruídos em descarrilhamentos;</p> <p>Danos no impacto;</p>

Fonte: Adaptado de CÂMARA, 2016.

#### 2.2.2.4 Trilhos

Os trilhos são vigas contínuas de aço, dispostas longitudinalmente na via, sendo componente integrante da superestrutura. Ele é responsável diretamente por transmitir para os dormentes e lastro as tensões produzidas pelo tráfego dos veículos e das cargas. Ao guiar os veículos, ele fornece uma superfície de rolamento adequada, distribuindo as forças de aceleração e frenagem, possuem também como

função conduzir corrente elétrica para os circuitos de segurança e sinalização da via (BRINA, *op.cit*, 1998).

O principal perfil utilizado em trilhos ferroviários de tipo convencionais é o *Vignole*, sendo composto pelo boleto, que serve como uma pista de rolamento para composição, a alma, elo entre o boleto e o patim e patim, que desempenha função de base de apoio ao trilho, como representado na Figura 12 NBR 7590, 2012).

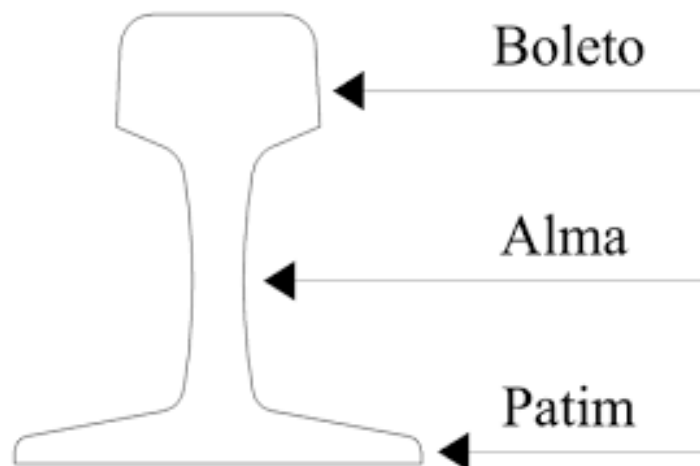


Figura 12: Corte da seção transversal de trilho tipo Vignole.

Fonte: ROSA, 2011.

A fim de exercer sua função como base de rolamento e suporte das cargas sustentados pelos veículos é necessário que o trilho possua tenacidade, dureza, elasticidade e boa resistência à flexão. O material que atende a essas especificações, são os trilhos fabricados em aço. Os trilhos fabricados no Brasil, são denominados e classificados de acordo com seu peso por unidade de medida métrica. O valor numérico referente ao seu nome de identificação é equivalente ao peso aproximado em quilograma por metro (kg/m) do perfil, conforme mostra a Tabela 1 (SEMPREBONE, 2006).

Tabela 1: Classificação de trilhos no Brasil.

		Trilhos							
Tipo nominal brasileiro - TR		25	32	37	45	50	57	68	
Tipo correspondente americano		5040	6540	7540	9020	10025	11525	13637	
		ASCE	ASCE	ASCE	ARA-A	AREMA	AREMA	AREMA	
Peso calculado, em kg/m		24,654	32,045	37,105	44,645	50,349	56,897	67,56	
Peso calculado, em lb/jardas		49,7	64,6	74,8	90	101,5	114,7	136,2	
Área calculado da seção (cm <sup>2</sup> )	Boleto	área	13,23	17,16	19,87	20,58	24,51	25,22	31,35
		% do total	42	42	42	36,2	38,2	34,8	36,3
	Alma	área	6,58	8,58	9,94	13,6	14,52	19,68	25,53
		% do total	21	21	21	24	22,6	27,1	27,3
	Patim	área	11,6	15,18	17,48	22,64	25,16	27,68	31,42
		% do total	37	37	37	39,8	39,2	38,1	36,4
	Área total		31,42	40,84	47,29	56,98	64,19	72,58	86,3
	Momento de inércia (cm) <sup>4</sup>		413,7	783,4	951,5	1610,8	2039,5	2730,5	3950
Módulo de resistência (cm <sup>3</sup> )	Boleto	81,6	120,8	149,1	205,6	247,4	295	361,6	
	Patim	86,7	129,5	162,9	249,7	291,7	360,7	463,8	
Raio de giração (cm)		3,6	4,15	4,49	5,32	5,63	6,13	7,11	

Fonte: Adaptado de SEMPREBONE, 2006.

### 2.2.2.5 Acessórios de Fixação

Para fixar os trilhos aos dormentes de maneira a garantir a geometria da via permanente, são utilizados os chamados acessórios de fixação. A fixação é utilizada para manter o trilho na posição correta tanto no sentido longitudinal quanto no sentido transversal e, portanto, auxilia na linearidade da bitola (VALE, *op.cit*, 2009).

Os principais acessórios são de fixações da via permanente são (BRINA, 1979):

- Tala de junção: tem como função a união de duas barras de trilhos, podendo ser de dois tipos: isolada, quando existe o isolamento elétrico entre as barras; e seca, quando não há presença de isolamento.
- Placa de Apoio: São chapas de aço anexadas sob a região dos trilhos com os dormentes. Tem como função reduzir a pressão sobre os dormentes aumentando sua vida útil, as placas possuem furos para fixação do *tirefond* ao dormente.

- Fixação Rígida: É composta pelos pregos de linha ou *tirefonds*. Tem como o objetivo realizar a fixação da placa de apoio ao dormente;
- Fixação elástica: São grampos de aço de mola especial, capazes de amortecer os esforços longitudinais e transversais das cargas verticais, o grampo *Pandrol* é um exemplo de fixação elástica.

A Figura 13 mostra os componentes de fixação presentes na via permanente ferroviária.

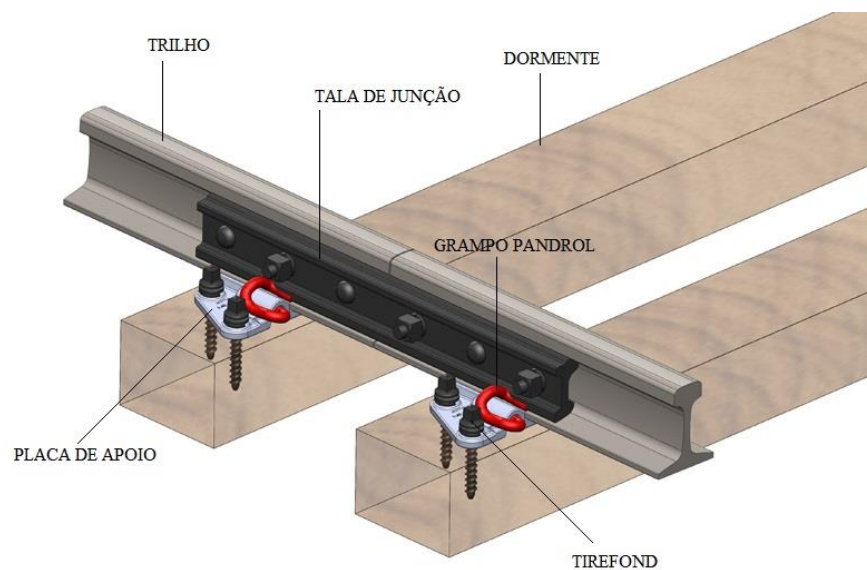


Figura 13: Acessórios de fixação.

Fonte: Adaptado de BR RAILPARTS, 2020.

Os grampos conhecidos como *Deenik* e *Fast-Clip* são exemplos de fixação elástica aplicados nos dormentes de aço e concreto, conforme mostra a Figura 14 e Figura 15, contudo, para os dormentes de aço os grampos são fixados entre a galocha isoladora e o trilho (RODRIGUES, H., *op.cit*, 2014).



Figura 14: Grampo *Deenik*.

Fonte: BR RAILPARTS, 2020.



Figura 15: Grampo *Fast-Clip* para dormentes de aço.

Fonte: BR RAILPARTS, 2020.

### 2.3 Geometria de Via

Para Magalhães (2007, p.13), numa definição objetiva, “o termo geometria de via se refere à posição que cada trilho ocupa no espaço”.

Além de seus componentes de superestrutura e infraestrutura, a ferrovia é um sistema que necessita de extremo cuidado com sua geometria, pois é necessário que

ela esteja conservada dentro dos limites de tolerância, para cumprir sua função com segurança (OLIVEIRA, 2018).

A posição das duas filas de trilhos varia no sentido longitudinal com concordâncias verticais entre os *grades*, formando o chamado “perfil altimétrico da via”. Da mesma forma, a posição de ambas as filas varia no sentido transversal (em planta), com seções de tangentes ou retas interligadas por setores curvos com características variáveis, formando o perfil planimétrico da linha (MAGALHÃES, *op.cit*, 2007, p.20).

É de extrema importância que cada empresa de concessão ferroviária estabeleça todos os critérios de tolerância para os defeitos de geometria de via seguindo as orientações das normas técnicas, que no Brasil é representada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NABAIS, *op.cit*, 2014).

Em Abril de 2016, a ABNT lançou a primeira edição da NBR 16387:2016 - Via Férrea Classificação de Vias, que tem como referência a norma americana *Federal Railroad Administration* (FRA), na qual estipula os parâmetros limite de monitoramento da geometria para ferrovias de bitola métrica de 1000 mm e bitola larga de 1600 mm.

Dentro de todo o contexto, torna-se, cada vez mais necessário monitorar as condições da via permanente através de inspeções, a fim de utilizar os dados para a melhor definição de estratégia da manutenção conforme as características do trecho (PASSOS, 2018).

### 2.3.1 Planimetria

Em planimetria, os traçados básicos de uma estrada incluem as curvas e tangentes, dispostas entre si de forma contínua e alternada em ambas as direções. As tangentes são segmentos de reta que unem duas curvas subsequentes, tangenciando-as em projeção horizontal. Conforme ilustrado na Figura 16, a tangente “T0” une a curva “C0” à “C1”, enquanto a tangente “T1” une a curva “C1” à “C2”. As curvas circulares, ou de raio constante, podem ser de mesmo sentido, como as curvas “C0” e “C1”, ou sentidos contrários, como a “C1” e “C2”, elas podem ser ligadas entre si, ou simplesmente separadas por uma tangente (DUVAL FILHO, 2001).

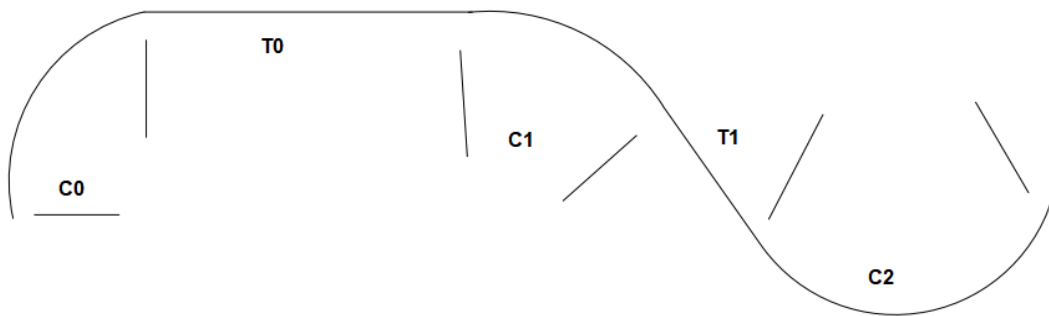


Figura 16: Geometria em planimetria.

Fonte: Adaptado de DUVAL FILHO, *op.cit*, 2001.

### 2.3.2 Altimetria

De maneira análoga à planimetria, pode-se dizer que no tocante à altimetria os traçados básicos são também compostos de curvas e a tangente (verticais). Neste caso, a concordância vertical resume-se em considerar dois *grades* retos (inclinação vertical do eixo da estrada) definidos por suas declividades “ $i_0$ ” e “ $i_1$ ” concordados por uma curva “C0”, que será côncava “C1” ou convexa “C0”, conforme a Figura 17. Vale ressaltar que para a concordância vertical, as curvas do tipo circular se mostram inadequadas, sendo que as curvas parabólicas se adaptam de uma forma melhor para a situação (MAGALHÃES, *op.cit*, 2007).

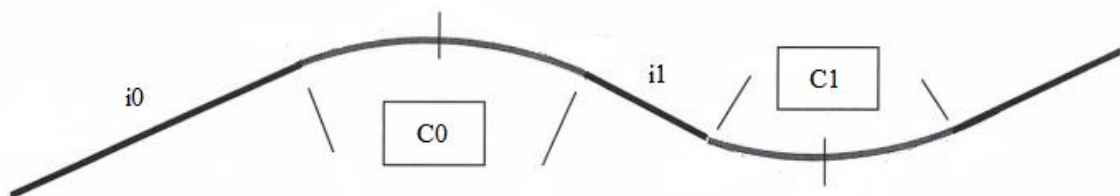


Figura 17: Componentes da altimetria.

Fonte: Adaptado de DUVAL FILHO, *op.cit*, 2001.

### 2.3.3 Parâmetros Qualitativos de Geometria de Via Permanente

Os principais parâmetros de geometria que interferem na qualidade da via permanente são: superelevação, bitola, alinhamento, nivelamento longitudinal e transversal, empeno e torção.

#### 2.3.3.1 Superelevação

A superelevação é a diferença de cota entre os trilhos de uma linha em curva, como mostra a Figura 18 (DUVAL FILHO, *op.cit*, 2001).

Em uma via ferroviária estabelecida num plano horizontal, a força centrífuga deslocará o veículo no sentido do trilho externo, provocando neste um forte atrito através dos frisos das rodas. Se a grandeza da força centrífuga exceder um certo limite, poderá provocar o descarrilamento ou tombamento do veículo. Para contrabalançar o efeito nocivo da força centrífuga, inclina-se a via ferroviária de um ângulo  $\alpha$ , elevando o trilho externo da curva, através da inclinação do dormente de modo a criar uma componente que equilibre a força centrífuga. (RUMO, 2017, p. 82)

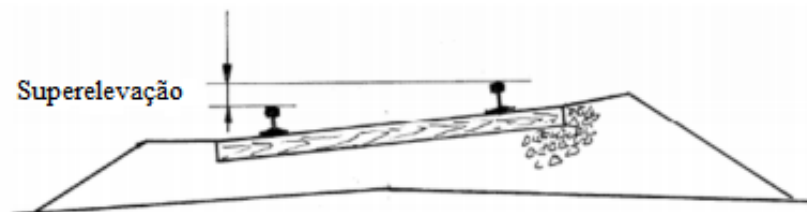


Figura 18: Esquema de superelevação na ferrovia.

Fonte: RODRIGUES, D., 2012.

#### 2.3.3.2 Bitola

Duval Filho (2001, p.22), afirma que: “Bitola é a distância entre os dois trilhos no ponto de contato no friso da roda, a 16 mm abaixo da superfície de rolamento do trilho”, como demonstrado na Figura 19.

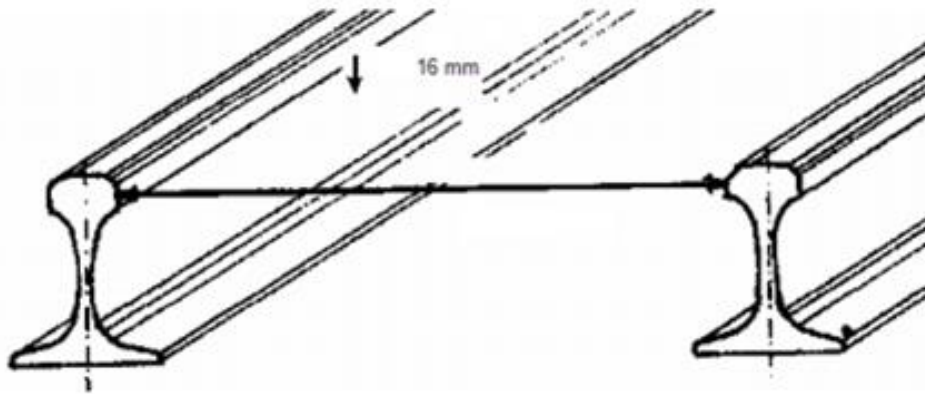


Figura 19: Representação de bitola na via.

Fonte: RODRIGUES, 2001.

A bitola da via férrea é o parâmetro de maior relevância na definição das características geométricas, simplesmente por definir toda a base de rolamento do material rodante. Quando este parâmetro não apresenta conformidade de acordo com a norma estipulada por cada empresa de concessão ferroviária, promove desgaste e degradação dos materiais da superestrutura, o que pode levar a ocorrência de acidentes e descarrilamentos da composição (LIMA, 1998).

No Brasil, em mais de 90% das ferrovias possuem a chamada bitola métrica de 1000 mm. A bitola larga de 1600 mm está presente na MRS Logística S.A, na EFC (Estrada de Ferro de Carajás) e em partes da FERROBAN (Ferrovias Bandeirantes S/A) (SILVA, E., 2006).

O defeito de bitola aumenta o desgaste nos trilhos e no material rodante das composições. Este pode ser avaliado sob dois aspectos: alargamento e estreitamento, os quais são descritos a seguir (RODRIGUES, D., *op.cit*, 2012):

### 2.3.3.3 Bitola Aberta

Nesta verificação, é analisado o valor máximo admissível para a bitola. Se o valor medido (Desvios Xi) conforme mostra a Figura 20, for superior ao estabelecido pela norma, então a bitola está com defeito conhecido como alargamento.

O defeito de bitola aberta é característico de curvas devido ao esforço que a linha férrea é submetida na passagem da composição e raramente ocorre em tangentes (RODRIGUES, *op.cit*, 2012).

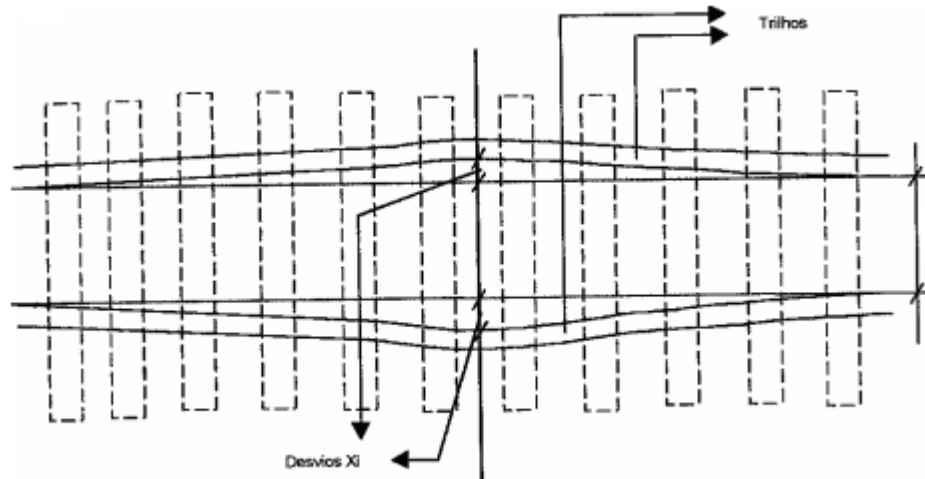


Figura 20: Representação de bitola aberta.

Fonte: RODRIGUES, D., *op.cit*, 2012.

Alguns fatores podem ser responsáveis por tal defeito (LIMA, *op.cit*, 1998):

- Dormentes de madeira em condições ruins;
- Desgaste da placa de apoio;
- *Tirefonds* frouxos;
- Desgaste lateral do boleto do trilho;
- Raio de curva muito apertado;

#### 2.3.3.4 Bitola Fechada

Durante a verificação de bitola, se o valor medido (Desvios Xi) for inferior ao estabelecido por norma, conforme mostra a Figura 21, então a via está com

estreitamento de bitola. Esse tipo de defeito acontece com menor frequência quando comparado ao defeito de bitola aberta (RODRIGUES, D., *op.cit*, 2012).

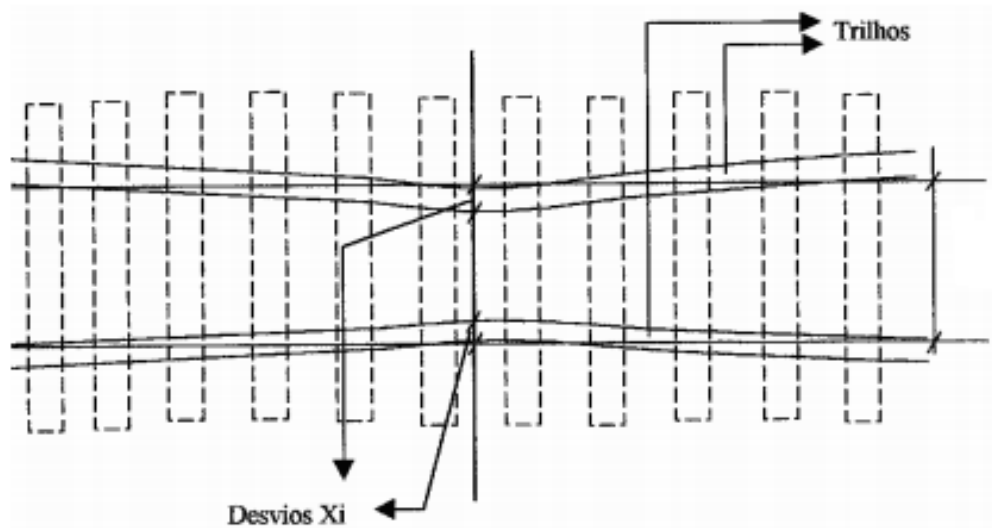


Figura 21: Representação de bitola fechada.

Fonte: RODRIGUES, D., *op.cit*, 2012.

Alguns fatores podem ser responsáveis por tal defeito (LIMA, *op.cit*, 1998):

- Aplicação incorreta do trilho;
- Amassamento de trilho;
- Quebra de dormente de madeira ou concreto;

#### 2.3.4 Flecha ou Alinhamento

A flecha “f” é a distância perpendicular do boleto do trilho ao centro “D” de uma corda “c” instalada entre dois pontos no trilho “A” e “B”, conforme a Figura 22. O desalinhamento acontece quando o valor “f” ultrapassa os limites de tolerância estabelecidos por cada ferrovia.

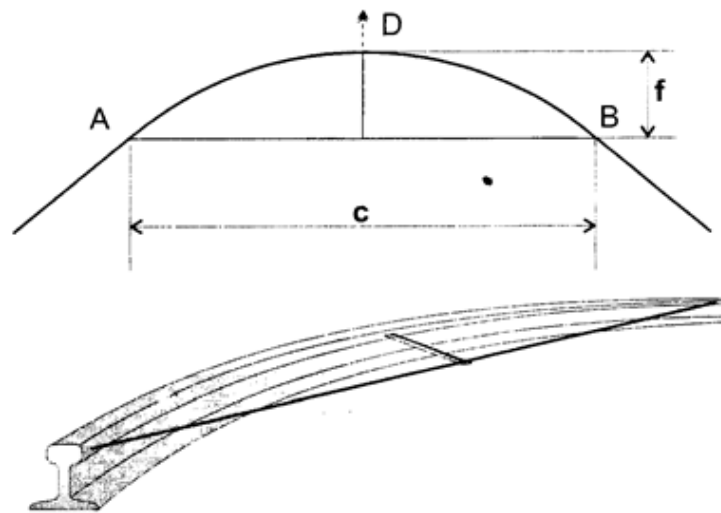


Figura 22: Flecha de via.

Fonte: DUVAL FILHO 2014; MAGALHÃES, 2014; SILVA, 2014.

### 2.3.5 Nivelamento Longitudinal

Duval Filho (2001, p.19), afirma que: “O nivelamento longitudinal é a disposição das cotas de topo de trilho em ambas as filas e no sentido longitudinal (sentido da linha) ao longo de um traçado.

O desnivelamento longitudinal ocorre quando há presença de pontos altos e baixos em forma simultânea (por igual em ambas as filas) ao longo de uma linha, como mostra a Figura 23 (DUVAL FILHO 2014; MAGALHÃES, 2014; SILVA, M., 2014).

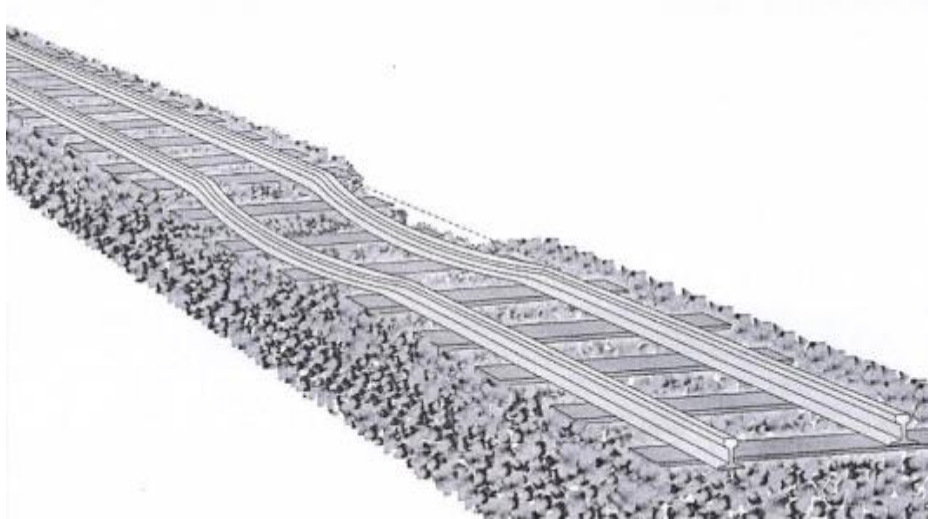


Figura 23: Desnívelamento longitudinal da via.

Fonte: DUVAL FILHO 2014; MAGALHÃES, 2014; SILVA, M., 2014.

### 2.3.6 Nivelamento Transversal

O nivelamento transversal ocorre quando uma das filas do trilho fica mais elevada que a outra, seja por ocorrência de afundamento em uma delas ou elevação imprópria da outra (voluntária ou não)”, de acordo com a Figura 24 (SILVA, E., *op.cit*, 2006).

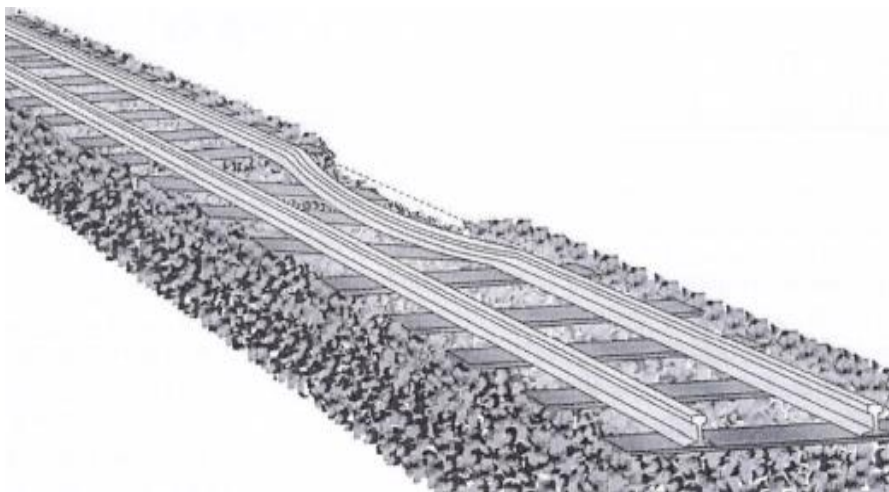


Figura 24: Desnívelamento transversal da via.

Fonte: DUVAL FILHO 2014; MAGALHÃES, 2014; SILVA, M., 2014.

O desnivelamento transversal pode ocorrer em tangentes e curvas. Na tangente sua amplitude é simplesmente a diferença ( $X$ ) entre os dois trilhos no plano horizontal, como mostra a Figura 25 (DUVAL FILHO, *op.cit*, 2001).

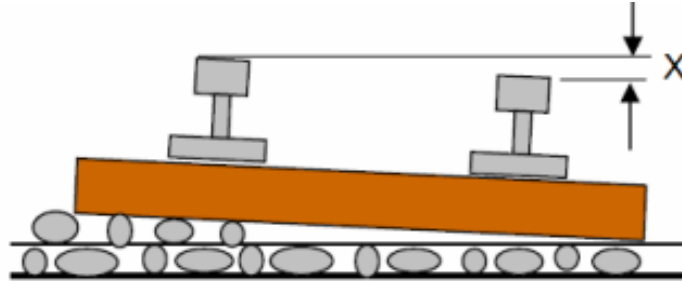


Figura 25: Desnivelamento transversal em tangente.

Fonte: DUVAL FILHO, *op.cit*, 2001.

### 2.3.7 Torsão e Empeno

A torsão e o empeno de via geram alterações bruscas de nivelamento transversal. A torção apresenta a instabilidade considerando os dois rodeiros de um mesmo truque, já o empeno indica a fragilidade para dois truques de mesmo vagão.

A torção, também denominada de “*Twist*”, é a diferença entre a superelevação “ $S1$ ” de um ponto “ $P1$ ” de referência e a superelevação “ $S0$ ” de um ponto “ $P0$ ” medido anteriormente, a uma distância pré-determinada “ $DT$ ”, como mostra a Figura 26 (SILVA, E., *op.cit*, 2006).

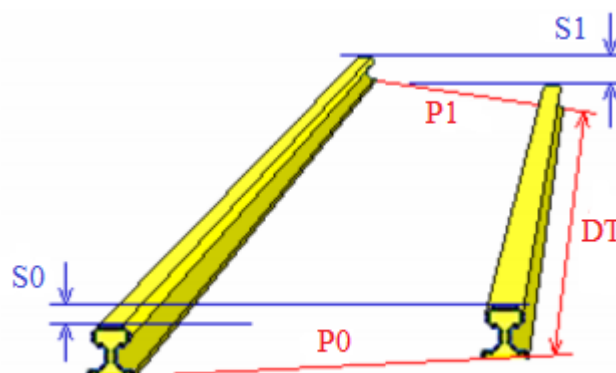


Figura 26: Torção na linha férrea.

Fonte: Adaptado de SILVA, E., *op.cit*, 2006.

A torção em P1 é expressa pela Equação 1:

$$TP1 = S1 - S0 \quad (1)$$

O empeno, conhecido como “*Warp*”, caracteriza-se por gerar alterações bruscas de nivelamento transversal as quais se traduzem em irregularidades no apoio dos rodados.

A Figura 27 mostra a análise do empeno na posição “P0”. O cálculo realizado toma-se como referência a maior superelevação em qualquer ponto entre “P1” e “P2”. Logo, em seguida, busca-se a menor valor de superelevação no mesmo trecho. Não é levado em consideração se esses pontos estão depois ou antes do ponto “P0”, apenas que eles estejam no dentro do trecho definido por “DT”. O valor do empeno será a diferença entre as duas superelevações encontradas com valores extremos, sendo SEa a maior superelevação encontradas entres “P1” e “P2” e SEb a maior superelevação negativa ou menor superelevação positiva encontradas entre “P1” e “P2” (RODRIGUES, D., *op.cit*, 2012).

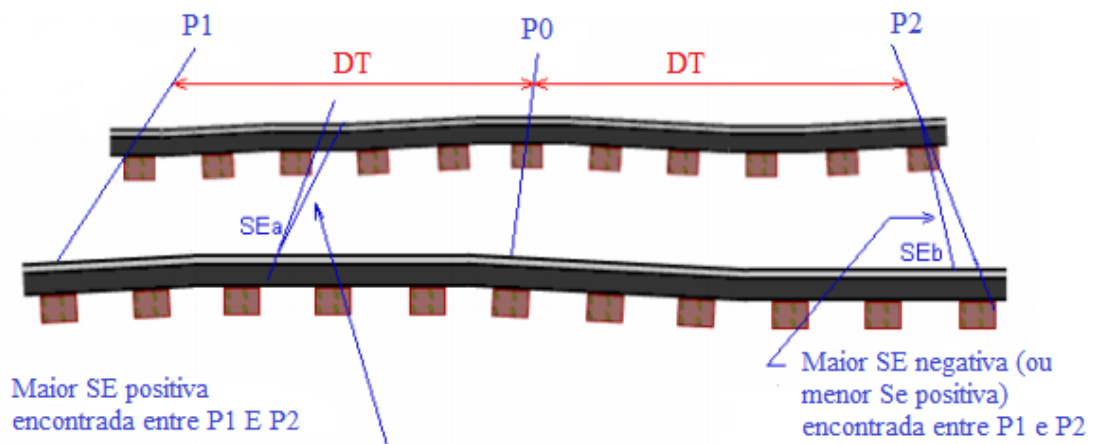


Figura 27: Representação de empeno na via férrea.

Fonte: Adaptado de SILVA, E., *op.cit*, 2006.

O valor do empeno em P1 é expresso pela Equação 2:

$$EPI = SEb - SEa \quad (2)$$

### 2.3.8 Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos de Via Permanente

As tolerâncias são definidas de modo a minimizar o custo total da manutenção ferroviária, estabelecendo-se, assim, o momento mais apropriado para a intervenção de manutenção. Todo desvio gerado na medição de geometria da via férrea se torna defeito ao ultrapassar os limites de tolerância, definidos por cada ferrovia. Os valores de tolerâncias no nível de eficiência e segurança são ajustados de modo a evitar a permanência de desvios, que podem gerar descarrilamentos da composição ferroviária e esforços grosseiros nos apoios de fixação da via.

As ferrovias brasileiras estipulavam seus próprios parâmetros de monitoramento da geometria da via por um longo período, se referenciando em normas internacionais, como a FRA (Federal Railroad Administration). Atualmente a MRS Logística S.A. utilizam os conceitos da FRA como referência para as tolerâncias dos parâmetros geométricos de via.

Cada ferrovia estipula suas classes de via de acordo com a norma vigente. A FRA classifica as ferrovias de acordo com os níveis de qualidade da via permanente, aspecto que vem a limitar ou definir as velocidades máximas autorizadas (VMA) de circulação (SILVA, E., *op.cit*, 2006).

A Tabela 2 apresenta os limites corretivos de segurança para os parâmetros geométricos presentes na via permanente conforme a FRA estipula para as empresas que seguem a norma. Os limites preventivos são considerados os valores referentes a classe de via superior a classe analisada.

Tabela 2: Tolerância de parâmetros de geometria de via.

Descrição dos limites			Velocidade - Trem carga			
			CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
			0 - 16 Km/h	17 - 40 Km/h	41 - 64 Km	65 - 96 Km/h
Bitola	1	Limite de Bitola Aberta ( <i>Estática</i> )	38 mm	32 mm	32 mm	25 mm
	2	Limite de Bitola Fechada ( <i>Estática</i> )	- 13 mm	- 13 mm	- 13 mm	-13 mm
	3	Bitola Carregada ( <i>Dinâmica</i> )	45 mm	39 mm	39 mm	32 mm
	4	Variação rápida de Bitola em 10 metros ( <i>Estática</i> )	25 mm	19 mm	19 mm	13 mm
Nivelamento Longitudinal	5	Desnívelamento máximo do perfil longitudinal (Top) <i>Flecha no topo do trilho, no meio da corda de 20 metros</i>	79 mm	70 mm	57 mm	51 mm
	6	Inclinação Máxima do Perfil Longitudinal (Runoff)	89 mm	76 mm	51 mm	38 mm
Nivelamento Transversal	7	Variação do nivelamento transversal em 20 metros (Empeno - Warp) Na tangente ou curva circular	76 mm	57 mm	51 mm	44 mm
	8	Variação do nivelamento transversal em 10 metros (Torção - Twist) Na espiral de entrada e saída	51 mm	44 mm	32 mm	25 mm
	10	Excesso de Superelevação em tangente	76 mm	51 mm	44 mm	32 mm
	11	Limite de superelevação reversa em curvas	38 mm	25 mm	22 mm	16 mm
	12	Máxima Superelevação em Curvas	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm
Alinhamento	13	Desalinhamento de Curvas em 20 metros <i>Varição máxima de flecha horizontal em relação à média das flechas no meio da corda de 20 metros</i>	127 mm	76 mm	44 mm	32 mm
	14	Desalinhamento de Curvas em 10 metros <i>Varição máxima de flecha horizontal em relação à média das flechas no meio da corda de 10 metros</i>	Avaliar na corda de 20 metros	Avaliar na corda de 20 metros	32 mm	25 mm
	15	Defeito de alinhamento em tangente de 20 metros <i>Varição máxima da flecha horizontal em relação à tangente no meio da curva de 20 metros</i>	127 mm	76 mm	44 mm	32 mm

Fonte: Adaptado de GONZAGA, 2018.

### 2.3.9 Manutenção na Via Permanente

Todas as ações necessárias para manter um ativo ou restaurá-lo, para uma condição satisfatória, é considerado uma atividade de manutenção (DHILLON, 2006).

O transporte ferroviário foi considerado um sistema decadente, há anos, pois só se faziam modificações na superestrutura quando o sistema ferroviário ficasse inoperante, o que era uma atividade extremamente arriscada para a segurança ferroviária. Porém, a ferrovia ofereceu uma ampla vantagem no transporte dinâmico de mercadorias e deslocamento de passageiros a grandes distâncias, oferecendo-se

como uma ótima alternativa às rodovias e às ligações aéreas. Contudo, foi verificado sua potencialidade, o que gerou uma forte modernização no sistema adaptando-o às novas necessidades (LEAL, 2008).

Ao realizar o levantamento do estado do material que constitui a via férrea é possível estabelecer uma forma de manutenção, organizada e programada. Nos dias atuais, estes podem ser definidos em função das necessidades reais identificadas pelos levantamentos (CACHO, 2009).

Assim, o mau estado da via férrea é definido pelas condições dos materiais e pela geometria da via. Estes dois aspectos influenciam diretamente, sendo que se um deles se apresentar degradação, irá contribuir para a instabilidade do outro (LEAL, *op.cit*, 2008).

Os serviços de manutenção e conservação em via permanente cumprem a especificações técnicas determinadas em normas, o controle de qualidade realizado através das inspeções visa avaliar a conformidade com tais normas. Nessas especificações constam os parâmetros de via, ou seja, as definições e tolerâncias a serem respeitadas. Através da utilização de equipamentos de avaliação é possível determinar os parâmetros geométricos e compará-los com as normas vigente. Os principais tipos de manutenções existem em ferrovias podem ser divididos em: manutenção corretiva, preventiva e preditiva (XAVIER, 1999).

### **2.3.9.1 Manutenção Corretiva**

Esse tipo de manutenção é considerado o método primário de conservação, pois é realizado quando for detectado um defeito existente, visto que, há necessidade de uma interferência imediata (SILVA, E., *op.cit*, 2006).

Independente se de realizar um acompanhamento cíclico, as anomalias ocorrem, por esse motivo este tipo de manutenção não se pode eliminado completamente. Quando uma destas falhas aparecem, alguma outra forma de manutenção pode não ter sido suficiente. Portanto, neste caso a única solução plausível é a reparação total da anomalia (LEAL, *op.cit*, 2008).

Esta atividade ocorre somente quando se for detectado a avaria ou a deficiência do material. Assim, os serviços são realizados sem planejamento, de forma

aleatória, o que causa a aplicação irregular de recursos e paralisações inesperadas no tráfego da via (CACHO, *op.cit*, 2009).

### **2.3.9.2 Manutenção Preventiva**

Este tipo de manutenção é realizado em intervalos programados, independente do material apresentar um valor crítico de desgaste. Tendo relação com uma atividade sistemática que previne o aparecimento de falhas e possibilita um controle contínuo do material que for analisado, pode envolver atividades como inspeções, substituições e reforma. A prática das atividades de correção geométrica na via permanente ferroviária em excesso provoca a degradação do lastro. Por este motivo torna-se essencial determinar o momento exato de intervir antes da ocorrência da falha.

Os serviços de manutenção preventiva podem ser divididos em três conceitos (LEAL, *op.cit*, 2008):

a) Renovação e substituição: representa a troca parcial ou total dos elementos da superestrutura ferroviária por materiais novos (renovação) e reempregar componentes já utilizados com menor desgaste.

Os serviços relacionados a esse tipo de classe, podem ser:

- Substituição de dormentes;
- Substituição e inversão dos trilhos defeituosos;
- Recomposição do lastro.

b) Revisão: representa a rotina de inspeção na via, com a finalidade de remover os defeitos presentes e os que estão ainda no período de formação.

Os serviços relacionados a esse tipo de classe, podem ser:

- Nivelamento de juntas;

- Socaria mecanizada;
- Alinhamento das tangentes;
- Alinhamento de curvas.

c) Pequenas conservações: representam as atividades de pequenas intervenções para substituição do material ou reparações com a finalidade de impedir que as condições da superestrutura e infraestrutura da via férrea afetem a segurança operacional.

Algumas atividades relacionadas a esse tipo de classe são:

- Reforços das fixações;
- Socaria Manual;
- Correção de Bitola.

### **2.3.9.3 Manutenção Preditiva**

Esse tipo de manutenção tem como premissa a vida útil dos materiais da via permanente. Cada material possui suas propriedades e a partir disso se torna possível determinar sua vida útil, de modo que as mudanças em suas características apresentam sinais da proximidade do momento da falha, o que proporciona um tempo apto para a intervenção da manutenção (RODRIGUES, D., *op.cit*, 2012).

A manutenção preditiva está associada à manutenção preventiva. Portanto, a monitoração e a consideração do momento da falha permitem a programação das atividades (CACHO, *op.cit*, 2009).

Os equipamentos disponíveis para inspeção dos parâmetros geométricos na via permanente ferroviária concedem o funcionamento do componente. Dessa forma podem auxiliar no processo de determinação do momento mais adequado (manutenção preditiva) para a implementação de uma intervenção preventiva, o que minimiza os serviços desnecessários e reduz o custo com as despesas (SILVA, E., *op.cit*, 2006).

Existem equipamentos nas ferrovias que auxiliam no monitoramento de alguns parâmetros pertinentes à manutenção preditiva, são eles:

- **Veículo de inspeção de via:** Na MRS Logística S.A, o equipamento utilizado para inspeção dos parâmetros de geometria, bem como o desgaste de trilhos é o *TrackStar*, (Strength Test Analysis and Recording) que significa “Testando Analisando e Gravando a Resistência da Via” (tradução nossa). O veículo possui um pacote inercial, constituído por um osciloscópio e um acelerômetro, tendo como função identificar a magnitude de variação dos parâmetros geométricos de via, em tempo real. O equipamento possui um conjunto de sistemas de câmeras a laser que é responsável por identificar o nível de desgaste dos trilhos ferroviários. Sua facilidade de logística para realizar a inspeção de via é favorável para a empresa, pois ele se desloca tanto na via férrea quanto na rodovia. O *TrackStar* é provido de um eixo capaz de aplicar carga sobre os trilhos, o que possibilita simular a força de uma composição sobre a via, sendo assim suas medições de bitola podem ser com carga e sem carga aplicada. Ao final de cada inspeção realizada, o especialista e o operador do veículo disponibilizam ao responsável pelo trecho os dados referentes a passagem do *TrackStar*, contendo as medições dos parâmetros geométricos, a fim de identificar possíveis defeitos (MAROTTA, 2016). A Figura 28 mostra o veículo sobre os trilhos ferroviários.



Figura 28: *TrackStar* sobre a linha férrea.

Fonte: MRS Logística, 2014.

- **Trolley:** Equipamento denominado TMG (*Trolley* de Medição Geométrica), que tem como significado “carrinho de medição” (tradução nossa). Ele é capaz de

coletar e armazenar os dados, de maneira semelhante ao sistema utilizado no *TrackStar*. Entretanto, para seu deslocamento sobre a via há necessidade de um colaborador operando-o de forma manual. A Figura 29 demonstra o equipamento sobre a linha férrea.



Figura 29: *Trolley* sobre a linha férrea.

Fonte: Dos autores, 2020.

- **Régua de bitola e superelevação:** A régua de superelevação e bitola geralmente é utilizada em verificação de defeitos pontuais na via, ou seja, em pequenas extensões, conforme a Figura 30.



Figura 30: Régua de bitola e superelevação.

Fonte: Dos autores, 2020.

### 3 ESTUDO DE CASO

Com o conteúdo bibliográfico apresentado, torna-se possível afirmar que o tipo de manutenção preditiva exige um monitoramento periódico dos parâmetros geométricos que possam degradar a via. Afinal, dependendo de sua intensidade pode desencadear acidentes e descarrilamento das composições. O monitoramento constante é essencial para estimar o momento mais apropriado de intervenções preventivas.

As etapas a seguir discorrem uma sequência de ações que, implantadas, permitirão a análise da qualidade do parâmetro geométrico bitola considerando os limites estabelecidos pela norma utilizada como referência. O resultado possibilitará determinar o tipo de manutenção preventiva que favorece a redução de gastos a médio e longo prazo para a empresa.

Objetivando definir as etapas do estudo, foi criado um roteiro que exemplificará as ações executadas durante o processo, de acordo com a Figura 31.

A primeira etapa é referente à definição do trecho a ser analisado, levando em consideração o histórico de criticidade de defeitos quanto ao parâmetro geométrico bitola em curvas.

A segunda etapa compreende a escolha do tipo de monitoramento que será utilizado para disponibilizar as informações das tolerâncias do parâmetro bitola do trecho determinado.

Posteriormente, foi colocado em prática a utilização do tipo de monitoramento escolhido. Com os resultados gerados foi analisado se há ocorrência de defeitos.

Após a análise das medições no trecho designado, foi constatada a presença do defeito de bitola aberta. Com isso, foi definido o melhor serviço para manutenção preventiva no ponto analisado, considerando a redução de custos com a atividade de correção. Os cálculos referentes aos valores das atividades de manutenção serão apresentados em forma de apêndices.

A quinta etapa trata a execução prática da atividade de manutenção definida.

A sexta e última etapa diz respeito aos resultados obtidos após a realização da atividade de manutenção.

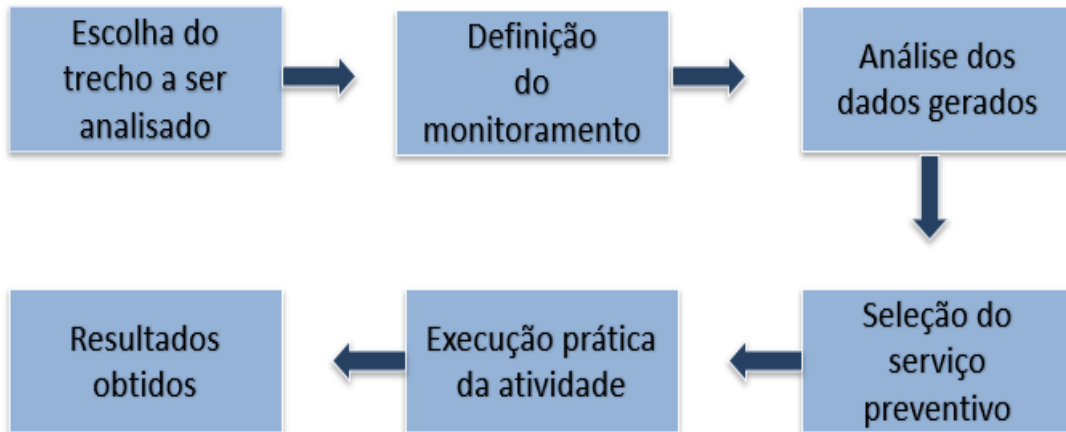


Figura 31: Etapas do estudo de caso.

Fonte: Dos autores, 2020.

### 3.1 Caracterização da Empresa

A empresa MRS Logística S.A. foi criada em 1996, quando o governo transferiu a gestão do setor ferroviário para a iniciativa privada. A MRS atua no setor de logística, transporte de cargas, administrando uma malha ferroviária de 1643 km, presentes nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, conforme mostra a Figura 32. De acordo com o levantamento executado pela empresa, um terço de toda a carga transportada por trens no Brasil passa pelos trilhos da MRS. As principais cargas são contêineres, materiais siderúrgicos, cimento, *commodities* de minério como o de ferro e bauxita, coque, carvão e *commodities* agrícolas.



Figura 32: Mapa da malha ferroviária da MRS Logística S.A.

Fonte: MRS Logística S.A, 2014.

### 3.2 Seleção do Trecho Analisado

A empresa objeto do presente estudo possui vinte unidades de Coordenações espalhadas em sua malha ferroviária, que são responsáveis pela manutenção da via permanente.

O estudo de caso foi realizado no trecho da Coordenação de Manutenção de Taubaté (núcleo de Agulhas Negras), que se localiza na cidade de Resende, estado do Rio de Janeiro (RJ). O Quadro 2 expressa a divisão por linhas da ferrovia da MRS Logística S.A, contendo seus respectivos locais de início e fim. A velocidade máxima autorizada na linha férrea define o tipo de classificação da via. O trecho analisado, pertence a linha do Vale do Paraíba, pois sua localização está entre Saudade e Manoel Feio, se enquadrando na classe de via número 3, uma vez que possui velocidade máxima em sua linha de 41 a 64 quilômetros por hora (km/h).

A sede tem sob sua responsabilidade a malha ferroviária que abrange o trecho localizado na cidade de Barra Mansa, estado do RJ até a cidade de Caçapava, no estado de São Paulo (SP). Os trechos são definidos por marcos quilométricos que se iniciam no km 158,300 em Barra Mansa e finalizam no km 364,000 em Caçapava, são expressos por ativos ferroviários para melhor identificação.

Quadro 2: Classificação dos tipos de classes na ferrovia da MRS Logística S.A.

Linhas	Local		Classe da Via e Velocidade			
	Início	Fim	Classe 1 0-16 Km/h	Classe 2 17-40 Km/h	Classe 3 41-64 Km/h	Classe 4 65-96 Km/h
Rio Janeiro	FAR	FQT Posto km 63	-	X	-	-
Variante do Brisamar	FGI	FQS Posto km 64	-	-	X	-
Linha do Centro	FQS Posto km 64	FDM	-	-	X	-
Paraopeba	FDM	TOD	-	-	X	-
Ramal do Barreiro	Ibirité	Barreiro	-	X	-	-
Ferrovia do Aço	FEU (P2.14)	FJC (P1.07)	-	-	-	X
Ferrovia do Aço	FLM (P1.06)	FOO (P1.03)	-	-	X	-
Ramal de São Paulo	Barra do Pirai	Saudade	-	-	X	-
<b>Vale do Paraíba</b>	<b>Saudade</b>	<b>Manoel Feio</b>	-	-	<b>X</b>	-

Fonte: MRS LOGÍSTICA, 2020.

Para definição do local a ser analisado foi utilizada a criticidade em todas as curvas do trecho abrangido pela Coordenação. A curva no ativo FVQFCZ localizado na cidade de Lavrinhas, no estado de SP, possui histórico de trecho crítico pelo fato de ser próxima ao Rio Paraíba do Sul e a represa do município, como mostra a Figura 33.

A criticidade em questão, leva em consideração o risco de acidentes e descarrilamentos da composição ferroviária próxima ao rio, o que poderia levar a contaminação e poluição fluvial, além de majorar os prejuízos para a empresa.

A curva em análise possui aproximadamente 800m de extensão e raio de 684m, sendo que tem como início o marco quilométrico 240,101 e fim 240,900.



Figura 33: Localização da curva analisada.

Fonte: GOOGLE MAPS, 2020.

### 3.3 Definição do Monitoramento para Medição da Bitola

A definição do método de monitoramento, tem como premissa a facilidade de logística para medição do parâmetro geométrico de bitola. O instrumento de medição *TrackStar* possui o resultado de inspeção em tempo real e ao término de sua passagem pela via, é gerado o relatório com os dados de bitola, momento no qual são registrados todos os valores de parâmetros geométricos.

Dessa forma, o tratamento e análise dos dados podem ser feitos através dos relatórios, facilitando assim a identificação dos parâmetros que ultrapassam as tolerâncias estabelecidas pela norma da empresa.

### 3.4 Análise dos Resultados Gerados

Com a passagem do *TrackStar* sobre a via, foram gerados os relatórios contendo os valores dos parâmetros de bitola. Como a medição do *TrackStar* é

realizada utilizando a unidade de medida inglesa *pés*, em 1 km o veículo realiza três medições diferentes, a fim de garantir uma confirmação dos dados levantados.

Após o tráfego do veículo sobre a via, foi extraído o relatório contendo a base de dados das três medidas realizadas por km. Para facilitar a identificação dos dados do parâmetro geométrico foi feita a média aritmética dos valores referentes aos dados de bitola estática e dinâmica. A Tabela 3 mostra como foi realizado o cálculo retromencionado, considerando o marco quilométrico km 240,101.

Tabela 3: Cálculo da média aritmética dos valores gerados.

<b>Marco quilométrico</b>	<b>Valores - Bitola Estática</b>	<b>Média Aritmética</b>
240,101	7,289999962	(7,289999962+ 7,849999905 +8,270000458) /3= 7,803333441
240,101	7,849999905	
240,101	8,270000458	

Fonte: Dos autores, 2020.

Com a finalidade de analisar a existência de defeitos de uma forma mais detalhada, foi desenvolvido um gráfico com a utilização do software Excel produzido pela Microsoft, referente ao resultado das médias encontradas, utilizando os valores que a norma FRA determina.

Como já mencionado, os valores limites para defeitos preventivos de bitola aberta na MRS Logística S.A. com trecho de classe 3 são de 25 mm e de bitola fechada são de 13 mm, já os limites referentes a intervenção corretiva são de 32 mm para alargamento de bitola e 13 mm para estreitamento de bitola.

A Figura 34 expressa os dados de bitola estática e dinâmica ao longo da curva em FVQFCZ, o eixo “y” representa os valores máximos de tolerância medidos em mm que tem como referência a medida de 1600 mm (valor padrão para bitola larga na MRS Logística). O eixo “x” contém os marcos quilométricos ao longo da curva, tendo como início o km 240,101, finalizando no km 240,900, sendo que a linha em vermelho

representa a margem para defeitos corretivos e a linha em amarelo para defeitos preventivos, considerando a abertura de bitola e o estreitamento da mesma.

A indicação da linha azul no plano horizontal expressa o valor medido da Bitola Sem Carga (BSC), enquanto a Bitola Com Carga (BCC) é representada pela cor em laranja. Mediante a análise do gráfico, foi observado valores de BSC e BCC acima de 1600 mm, em todos os marcos da curva, sendo que o ponto máximo foi de 1628 mm com aplicação de carga e 1626 mm sem a força aplicada. Através disso, foi observada a existência do defeito de alargamento de bitola. Portanto, devido a esses fatores, juntamente com a criticidade do local, foi necessária uma intervenção preventiva a fim de corrigir a bitola aberta.

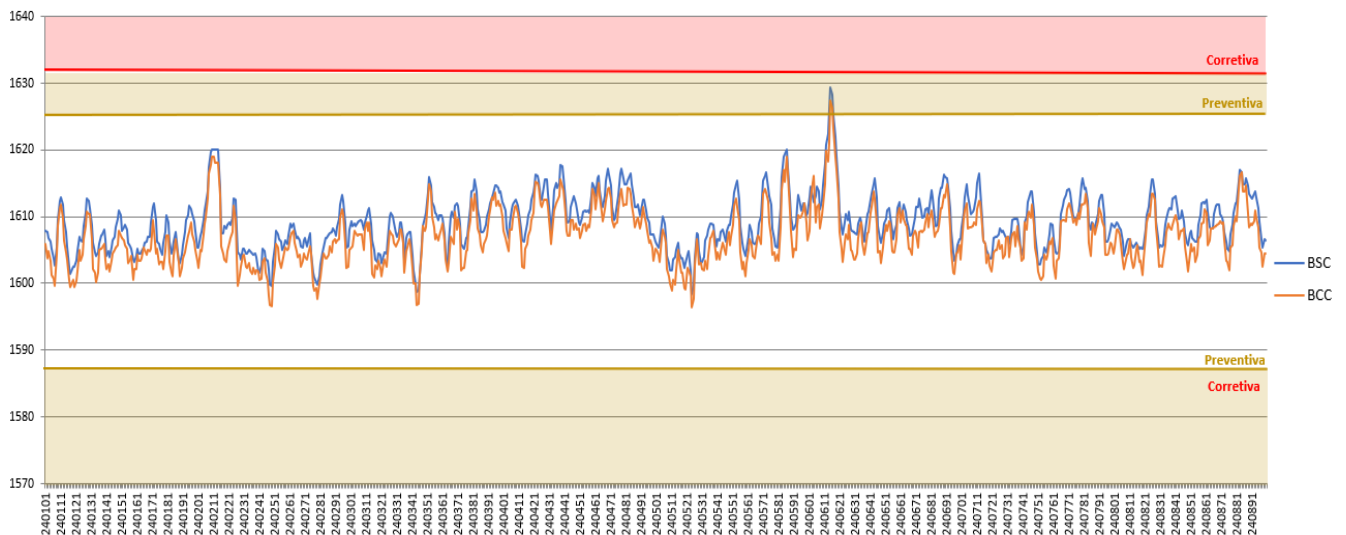


Figura 34: Gráfico de bitola estática e dinâmica.

Fonte: Dos autores, 2020.

### 3.5 Definição do Serviço Preventivo

Após a comprovação da existência da abertura de bitola na curva, foi feita a visita em campo para entender a origem do defeito no local. Durante a visita ao trecho, foi constatado que os dormentes de madeira empregados estavam em condições ruins, conforme mostra a Figura 35 e a Figura 36.

Nesse sentido, a condição atual dos dormentes foi considerada a causa primordial para o defeito de alargamento de bitola.

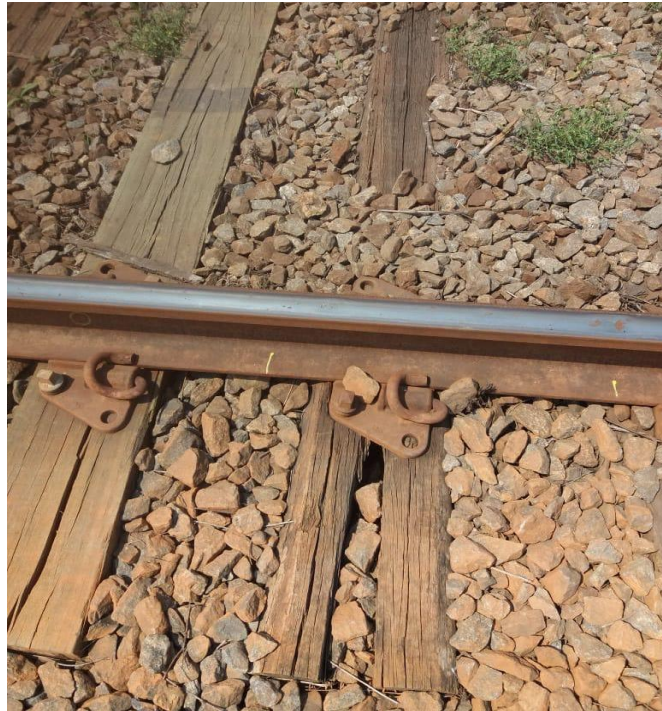


Figura 35: Dormente podres ao longo da via.

Fonte: Dos autores, 2020.

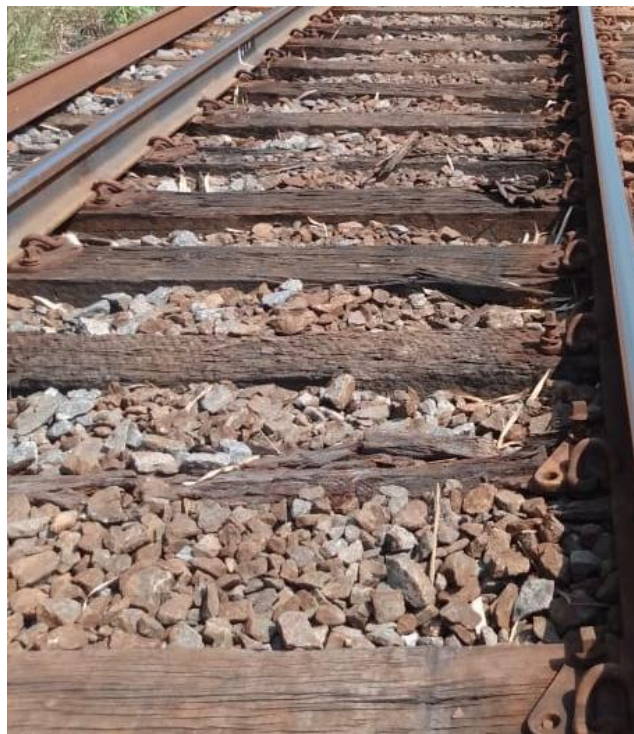


Figura 36: Dormentes deteriorados ao longo da curva.

Fonte: Dos autores, 2020.

Por meio da identificação da origem do defeito existente, foi adotada como atividade preventiva a substituição de dormentes para correção da bitola. Para tanto, foi feito um levantamento de custo com os valores atuais que a empresa investe para identificar o tipo de material a ser implantado (novos dormentes de madeira ou dormentes de aço).

Para a substituição de novos dormentes de madeira, foi levado em consideração o valor de cada dormente, o custo dos acessórios de fixação e o serviço pago à empresa terceirizada. A Tabela 4 representa o preço unitário de cada dormente de madeira novo.

Tabela 4: Preço unitário em Reais do dormente de madeira.

<b>Tipo de material</b>	<b>Preço Unitário em Reais (R\$)</b>	<b>Unidade de medida</b>
Dormente de madeira	R\$ 161,82	Unidade

Fonte: Dos autores, 2020.

Os custos com os acessórios de fixação estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5: Preço unitário em Reais de cada acessório de fixação.

<b>Acessórios de fixação</b>	<b>Preço Unitário em Reais (R\$)</b>	<b>Unidade de medida</b>
Placa de apoio	R\$ 32,00	Unidade
<i>Tirefond</i>	R\$ 4,13	Unidade
Arruela	R\$ 1,41	Unidade
<i>Grampo Pandrol</i>	R\$ 5,10	Unidade

Fonte: Dos autores, 2020.

Além do valor pago referente a atividade de substituição de novos dormentes, será necessária uma atividade extra de correção de bitola, os custos inerentes a essas atividades estão expressos conforme mostra na Tabela 6.

Tabela 6: Custo em Reais das atividades de substituição de novos dormentes de madeira.

Serviço	Custo Unitário em Reais (R\$)	Unidade de medida
Substituição da dormente de madeira	R\$ 54,00	Unidade
Correção de bitola	R\$ 20,86	Metro

Fonte: Dos autores, 2020.

De acordo com o Procedimento Operacional da MRS Logística S.A, 1 km de extensão contém 1.852 dormentes. Considerado a extensão da curva, 800 m, seriam necessários 1.481 dormentes. Sendo assim, os cálculos da quantidade de dormente a serem substituídos e custo total do serviço estão expressos na Apêndice A. Através da Tabela 7, pode-se observar o custo final da atividade considerando a quantidade de dormentes a serem investidos e o valor da execução prática do serviço.

Tabela 7: Custo total para substituição de dormentes de madeira

Descrição do serviço/material	Preço total em Reais (R\$)
Dormente de madeira	R\$ 239.655,42
Placa de apoio	R\$ 94.784,00
<i>Tirefond</i>	R\$ 48.932,24
Arruela	R\$ 16.705,68
<i>Grampo Pandrol</i>	R\$ 15.106,20
Substituição de dormente	R\$ 79.974,00
Correção de bitola	R\$ 16.688,00
<b>Custo total da substituição</b>	<b>R\$ 511.845,54</b>

Fonte: Dos autores, 2020.

Como alternativa de utilização de outro material para dormentes a MRS Logística S.A possui uma quantidade determinada para aplicação de dormente de aço

por Coordenações. Contudo, foi realizado o levantamento de custo referente a atividade de substituição de dormentes de madeira para dormentes de aço.

Para a execução do serviço, foi estimado o valor de cada dormente de aço. O custo relacionado a compra do dormente inclui a montagem dos acessórios de fixação que, quando requisitados, são entregues fixados aos dormentes, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Preço unitário em Reais para unidade de dormente de aço.

<b>Tipo de material</b>	<b>Preço Unitário em Reais (R\$)</b>	<b>Unidade de medida</b>
Dormente de aço	R\$ 431,25	Unidade

Fonte: Dos autores, 2020.

Além do valor de cada dormente, calcula-se o serviço pago para a empresa terceirizada referente a atividade de substituição, conforme expresso na Tabela 9.

Tabela 9: Custo em Reais da atividade de substituição de dormente de madeira para aço.

<b>Serviço</b>	<b>Custo Unitário em Reais (R\$)</b>	<b>Unidade de medida</b>
Substituição de dormentes de aço	R\$ 78,98	Unidade

Fonte: Dos autores, 2020.

Em conformidade com o Procedimento Operacional da MRS Logística S.A, 1 km de extensão da linha férrea possui 1.695 dormentes de aço. Considerado a extensão da curva de 800 m, seriam necessários 1.356 dormentes a serem substituídos.

Sendo assim, os cálculos da quantidade de dormentes a serem substituídos e o custo total do serviço estão expressos no Apêndice B. Portanto, através da Tabela 10 pode-se observar o custo final da atividade considerando a quantidade de dormentes a serem investidos e o valor da execução prática do serviço.

Tabela 10: Custo total da atividade de substituição de dormente de madeira para aço.

<b>Descrição do serviço/material</b>	<b>Preço total em Reais (R\$)</b>
Dormente de aço	R\$ 584.775,00
Atividade de substituição de dormente de madeira para aço	R\$ 107.096,88
<b>Custo total</b>	<b>R\$ 691.871,88</b>

Fonte: Dos autores, 2020.

Conforme o levantamento bibliográfico realizado, a vida útil do dormente de aço é estimada em 40 a 50 anos e do dormente de madeira está em torno de 14 anos, porém como o material implantado em ferrovia fica exposto a intempéries, a MRS Logística S.A utiliza como medida preventiva a substituição antecipada dos dormentes de madeira considerando sua vida útil na linha férrea por um período de 5 anos.

Mediante aos valores apresentados, a substituição da madeira pelo aço a curto prazo representaria um aumento de 26,02 % conforme demonstrado no Apêndice C. Sendo assim, é válido ressaltar que o custo final do serviço de implantação de dormente de madeira é mais acessível para empresa. Porém, a médio e longo prazo, o dormente de aço vai apresentar um custo-benefício maior, devido sua longa vida útil, seu desempenho na ferrovia e suas características que garantem maior estabilidade na segurança operacional. Além disso, foi considerado o cálculo de ciclos da manutenção dos dormentes, em virtude de sua vida útil na ferrovia, sendo que para este caso, seriam necessários oito ciclos de troca de dormente de madeira para apenas uma atividade de implantação de dormentes de aço.

Com base nisso, o serviço de substituição de dormentes de madeira para dormentes de aço apresentou resultados satisfatórios em relação ao custo-benefício ao longo do tempo, sendo assim, optou-se pela correção de bitola aberta na curva em análise enquanto atividade preventiva.

### 3.6 Execução Prática do Serviço de Manutenção Preventiva

Devido ao Plano de Manutenção da empresa, o serviço definido será iniciado no ano de 2020 e finalizado no ano de 2021. Desse modo, a execução prática da atividade de manutenção apresentada a seguir contempla a substituição dos dormentes nos km 240,101 ao km 240, 280, o que representa uma distância de 179m de linha férrea.

#### 3.6.1 Execução Prática do Serviço de Manutenção Preventiva

A logística do transporte de fardos dos novos dormentes de aço a serem implantados na curva, foi realizada utilizando um equipamento de terraplenagem a Escavadeira CAT 315-D (E-22), conforme a Figura 37.



Figura 37: Escavadeira CAT 315-D.

Fonte: Dos autores, 2020.

Posteriormente, foi posicionado o veículo no local próximo a curva onde será realizada a troca de dormentes. A Figura 38 demonstra o fardo de dormente posicionado no local correto.



Figura 38: Fardo de dormente de aço.

Fonte: Dos autores, 2020.

Em seguida, foi realizada a medição do espaçamento dos novos dormentes a serem instalados e as marcações dos locais exatos, com a utilização de uma trena de vinte metros e um marcador industrial, como mostra a Figura 39. O espaçamento de 54,0 centímetros (cm) referente ao dormente de madeira foi modificado para o novo espaçamento de medida de 59,0 cm, de acordo com o procedimento operacional padrão de atividade de implantação de dormente de aço da MRS Logística S.A.



Figura 39: Medição e marcação do espaçamento dos novos dormentes.

Fonte: Dos autores, 2020.

Ao final da abertura, foram separados os dormentes dos fardos por meio do uso de uma alavanca lisa e espalhados com o tenaz de dormente até o respectivo local, indicado próximo a marcação feito nos trilhos.

Logo após, foi realizado a remoção do lastro e da vegetação acumulada sobre a via e entre os dormentes. Tal ação se deu por meio do uso da ferramenta picareta ponta e ponta removendo, assim, do ombro da peça até a face inferior do dormente a ser substituído, como representado na Figura 40.



Figura 40: Remoção do lastro e vegetação da via.

Fonte: Dos autores, 2020

Iniciou-se, então, a abertura da cava de maior profundidade para a inserção do dormente de aço, promovendo uma passagem adequada para o perfil de aço por baixo das duas filas de trilhos da linha. Para realizar a abertura da cava utilizou-se a ferramenta gadanho de oito dentes, conforme demonstrado na Figura 41.



Figura 41: Abertura da cava.

Fonte: Dos autores, 2020.

Após a execução da abertura da cava procedeu-se a etapa de remoção dos acessórios de fixação (grampo *pandrol*, *tirefonds*, placas de apoio e arruelas) dos dormentes de madeira. A retirada do grampo foi executada com a utilização da ferramenta extrator de grampos, como se nota na Figura 42.



Figura 42: Remoção dos acessórios de fixação.

Fonte: Dos Autores, 2020.

Com o uso da ferramenta marreta, de material plástico, foram realizados golpes nas placas de apoio para removê-las, facilitando assim, sua retirada, conforme mostra a Figura 43 e a Figura 44.



Figura 43: Deslizamento da placa de apoio.

Fonte: Dos autores, 2020.



Figura 44: Extração da placa de apoio.

Fonte: Dos autores, 2020.

A retirada do dormente de madeira foi executada por uma dupla de colaboradores utilizando-se a tenaz, ferramenta em forma de tesoura com pontas

dimensionadas para prender o dormente com uma leve penetração, de acordo com a Figura 45. Em seguida, o dormente é depositado e empilhado em local adequado, de modo que não obstrua a valeta e demais componentes de drenagem da via, para que posteriormente possam ser recolhidos. O destino dos dormentes, juntamente com os acessórios de fixação, são de responsabilidade da Coordenação de Manutenção de Via do trecho vigente, sendo esta, capaz de separar as peças para serem reutilizadas (materiais reemprego) ou direcioná-las para a área responsável por vendas de sucata.



Figura 45: Extração do dormente de madeira.

Fonte: Dos autores, 2020.

Com a área desobstruída, fez-se a inserção do perfil de aço, utilizando-se duas tenaz para dormentes de aço, como mostra a Figura 46. A substituição é realizada em pares de dormentes, gerando assim, uma sequência na qual há dois dormentes de aço seguidos por dois dormentes de madeira. Tal método garante a preservação da bitola original da via, pois a atividade é executada sem intervalo.



Figura 46: Inserção do dormente de aço na cava.

Fonte: Dos autores, 2020.

Em seguida, os dormentes de aço são suspensos e seus componentes de fixação são ajustados e fixados ao patim dos trilhos utilizando-se a ferramenta alavanca para fixação de *fast clip*, como demonstrado na Figura 47.



Figura 47: Ajustes nos componentes de fixação.

Fonte: Dos autores, 2020.

Iniciou-se o lançamento da brita dentro da calha do dormente, região na qual será realizado a etapa de socaria, por meio do uso de um equipamento conhecido como conjunto de socaria.

Concluindo essa etapa foi recomposto a camada de lastro deslocado durante o processo, finalizando assim, a implantação do dormente de aço no local determinado, como mostrado na Figura 48.

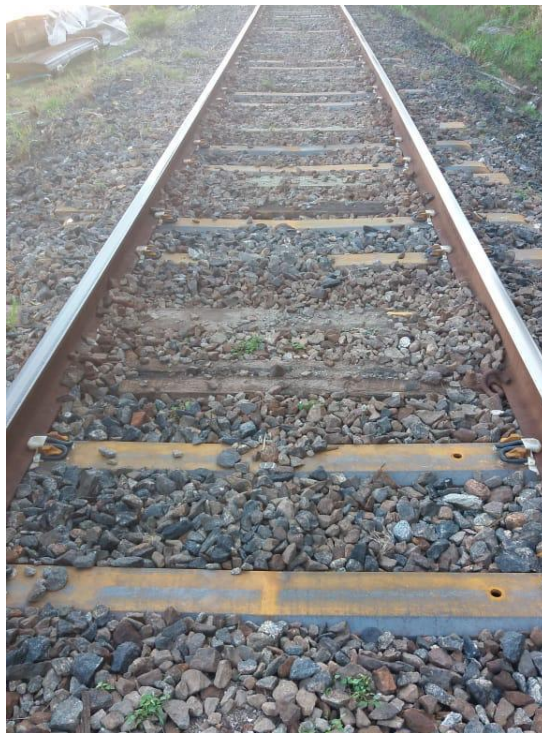
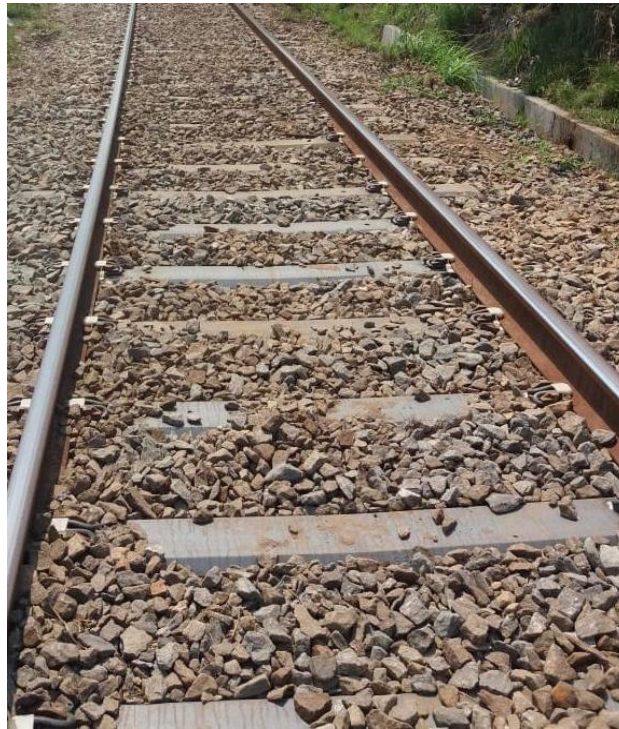


Figura 48: Dormente de aço intercalado com madeira ao longo da via.

Fonte: Dos autores, 2020.

Após o término da substituição de dormente para o trecho determinado na data previamente estabelecida, programou-se a continuação do serviço, dando sequência ao procedimento de substituição dos dormentes de madeira restantes no trecho.

Duas semanas depois a data inicial da atividade, a equipe voltou ao local para finalizar o serviço no km 240,101 ao km 240,280 cumprindo todas as etapas citadas anteriormente. A Figura 49 mostra a atividade finalizada com a implantação de todos os dormentes de aço.



via.

### 3.7 Resultados Obtidos Após Implantação do Dormente de Aço

Devido ao planejamento da logística de inspeção com o *TrackStar*, o mesmo só irá passar na curva designada somente no ano de 2021, data em que o serviço de manutenção será finalizado ao longo de toda curva. Contudo, para a constatação do valor da bitola na via, foi utilizado o *Trolley* como método alternativo e eficaz de inspeção no local. Após a passagem do equipamento sobre a via, foi possível identificar apenas os valores de bitola estática em um trecho de 179 m da curva em análise. Portanto, com os dados encontrados foi gerado o gráfico referente a bitola sem carga na região.

De acordo com a Figura 50, é possível identificar que os valores de bitola, após a implantação do aço, se encontram dentro dos padrões impostos pela norma adotada pela MRS Logística S.A, sendo que os valores referentes a bitola fechada são decorrentes do amassamento do trilho na região.

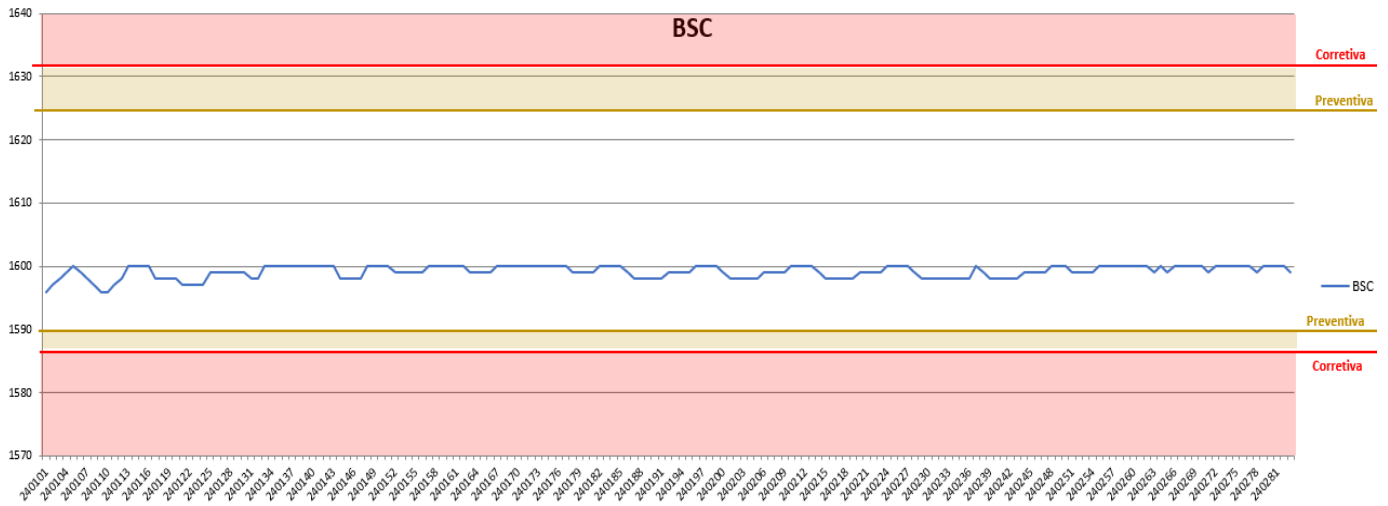


Figura 50: Gráfico de bitola sem carga após a implantação do aço.

Fonte: Dos autores, 2020.

## 4 CONCLUSÃO

Com o parâmetro geométrico bitola definido como objeto direto de estudo, conclui-se que, os valores encontrados após o serviço de implantação do dormente de aço na via permanente estão dentro dos padrões impostos pela norma vigente da empresa.

Através da análise de gastos das atividades preventivas, foi definido o serviço de manutenção com a utilização do aço, tendo em vista que a curto prazo o mesmo representa 26,02% a mais do valor em comparação com os dormentes de madeira, porém considerando a vida útil dos materiais expostos na ferrovia e a durabilidade dentro do número de ciclos necessários para manutenção, o aço apresenta uma longa vida útil, sendo que para o caso estudado, seriam necessários oito ciclos de troca de dormente de madeira para apenas uma atividade de implantação de dormentes de aço.

Portanto, a fim de encontrar uma solução para o defeito e reduzir os custos com a manutenção o estudo apresenta uma proposta técnica que aprimora a via permanente. A inserção de dormentes de aço, além de melhorar o desempenho da bitola e a segurança da composição ao longo do trecho em destaque, irá apresentar um custo-benefício a médio e longo prazo maior para a empresa.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11432/1989: Equipamento para via permanente ferroviária – Classificação.** 1989.

\_\_\_\_\_, **NBR 16387/2016 – Via Férrea – Classificação de Vias.** 2016.

\_\_\_\_\_, **NBR 11460/1980 (EB 813) – Lastro – Execução – Especificação.** 1980.

\_\_\_\_\_, **NBR 11824/1991 (EB 2123) – Dormente de aço – Especificações.** 1991.

\_\_\_\_\_, **NBR 12477/1991 (PB 1539) – Dormente de aço laminado – DA – 28 – Padronização”.** 1991.

\_\_\_\_\_, **NBR 7190/1978 (NB 11) – Projeto de estruturas de madeira.** 1978.

\_\_\_\_\_, **NBR 7511/2005 (EB 101) – Dormente de madeira – Requisitos e métodos de ensaio.** 2005.

\_\_\_\_\_, **NBR 7590: Trilhos *Vignole* – Requisitos,** 2012.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço.** 1999, 256 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BORGES NETO, Camilo. **Manual Didático de ferrovias.** Universidade Federal do Paraná, 2012. 205 p.

BR RAILPARTS. **Produtos.** Disponível em: <<http://www.brrailparts.com.br/produtos.php>. 2020. Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro v.1 e v.2,** 2.ed.Belo Horizonte: UFMG, 1988. ISBN:85-216-0011-9.

CÂMARA, Guilherme Becker. **Procedimento e software para identificar, classificar e analisar problemas na linha ferroviária de trem e carga**. 2016. 94 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). – Universidade federal de Santa Catarina, 2016.

CARDIM, Paulo. **Greve dos caminhoneiros: rodovia x ferrovia**. Blog da Reitoria, São Paulo, jun. 2018, Centro Universitário Belas Artes de São Paulo, p. 1. Disponível em: <<http://www.belasartes.br/diretodareitoria/artigos/greve-dos-caminhoneiros-rodovia-x-ferrovia>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

CARMO, Renata Cristina do. **Procedimento Para Avaliação De Passagens De Nível**. 2006. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Transporte Ferroviário de Cargas, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de *et al.* **Transporte sobre trilhos no Brasil: uma perspectiva do material rodante**. Rio de Janeiro; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. 48 p. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Transporte e Economia: O sistema Ferroviário Brasileiro**. Brasília: 2013. 58 p.

CUNHA, Jorge de Oliveira. **Manual básico de engenharia ferroviária**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 360 p. Disponível em: <<https://ebooks.ofitexto.com.br/epubreader/manual-bsico-de-engenharia-ferroviria>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Instrução de Serviço Ferroviário (ISF) - 212: Projeto de superestrutura da via permanente – Lastro e Sublastro**. 18 p, 2015.

\_\_\_\_\_, **ISF-211: Projeto de Terraplenagem**. 22 p. Brasil, 2015.

\_\_\_\_\_, **Instrução de Serviço Ferroviário (ISF) – 213: Projeto de superestrutura da via permanente – Trilhos e dormente**. 16 p, 2015.

DHILLON, B.S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1. ed. New York: CRC Press, 2006.

DUVAL FILHO, Ernani, et. al. **Curso de Especialização em Engenharia Ferroviária**. 2014, 350 f. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – Instituto de Educação Continuada (IEC). Belo Horizonte. 2014.

DUVAL FILHO, Ernani. **Curso de Via Permanente Ferroviária**. 2001. 24 p. Ferrovia Centro Atlântica, 2001.

EVARISTO, Lucas. **Drenagem de Via Impecável**. 2019. Disponível em: <<https://www.brasilferroviario.com.br/drenagem-de-via-impecavel/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

FERROVIA AREIA E PEDRA (São Paulo, SP): Produtos, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.ferroviareia.com.br/produtos>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

GHÉLERE, Hélio Luiz. **Noções de Via Permanente**. Curitiba: Editora América Latina Logística, 2002. 22p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Transporte ferroviário de cargas no Brasil: Gargalos e perspectivas para o desenvolvimento econômico e regional**. Série: Eixo do Desenvolvimento Brasileiro, Brasil, 2010, 77 p. (Série).

LEAL, Diana Rita da Silva. **Gestão da Conservação em Vias-Férreas**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Coimbra, 2008.

LIMA, Henrique Alexandre Dourado. **Procedimento para seleção de método de manutenção para a superestrutura ferroviária**. 1998. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 1998.

LOURENÇO, Mariana Koerich. **Elaboração de projeto para o desenvolvimento de material didático para o ensino de Engenharia Ferroviária e Metroviária com foco em via permanente**. 2014. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

MAGALHÃES, Paulo César Barroso. **Programa de capacitação em geometria de linha: Ênfase em segurança e comodidade**. Juiz de Fora: MRS Logística S.A., 2007.

MAIA, Victor. **Ferrovias, um breve histórico.** 2018. Disponível em: <<https://eduqc.com.br/concursos/engenharia/ferrovias-um-breve-historico/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

MARCO, Plinio de. **Conheça as principais obras de arte especiais brasileiras.** 2019. Disponível em: <<http://dynatest.com.br/conheca-as-principais-obras-de-arte-especiais-brasileiras/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

MAROTTA, Raphael Damasceno. **Modelagem da degradação da superestrutura ferroviária e otimização na alocação de recursos para manutenção.** 2016. 99 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

MIGUEL, Priscila Laczynski de Souza; REIS, Manuel de Andrade e Silva *et al.* **Panorama do Transporte Ferroviário no Brasil – Desafios e Oportunidades.** 2015. 3 p. FGV – Projetos.

MONTEIRO, Flavio. **1º Batalhão Ferroviário avança com a terraplenagem na duplicação da BR 116, no Rio Grande do Sul.** 2019. Disponível em: <[http://www.eb.mil.br/operacao-acolhida/noticias/asset\\_publisher/FB2z0y6rFLpC/content/1-batalhao-ferroviario-avanca-com-a-terraplenagem-na-duplicacao-da-br-116-no-rio-grande-do-sul/8357041](http://www.eb.mil.br/operacao-acolhida/noticias/asset_publisher/FB2z0y6rFLpC/content/1-batalhao-ferroviario-avanca-com-a-terraplenagem-na-duplicacao-da-br-116-no-rio-grande-do-sul/8357041)> Acesso em 02 de dezembro de 2020.

MOURA, Ananda. **Projeto de Delmasso Cria Política Distrital de transporte sobre trilhos.** 2019. Disponível em: <<https://rodrigodelmasso.com.br/2019/11/21/projeto-de-delmasso-cria-politica-distrital-de-transporte-sobre-trilhos/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

MRS LOGÍSTICA S.A. **TrackStar e Ultra-Som 2014.** Disponível em: <<https://www.mrs.com.br/post-blog-inovacao/track-star-e-ultrasom/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

MRS Logística S.A. Gerência de Engenharia e Normatização de Operações. **VMA - Velocidade Máxima Autorizada:** Especificação técnica de VMA. 2020. 8 p.

NABAIS, Rui José da Silva. **Manual básico de engenharia ferroviária.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 360 p. Disponível em: <<https://ebooks.ofitexto.com.br/epubreader/manual-bsico-de-engenharia-ferroviria>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

OLIVEIRA, Júlio César. **Estrutura de via permanente ferroviária e suas patologias**. 2018. 69 f. (Trabalho de Conclusão de Curso), - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018.

PASSOS, Washington Luis. **Geometria de via permanente: um fator determinante para a velocidade de uma composição**. 2018. 44 f. (Trabalho de Conclusão de Curso), - Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, 2018.

PORTO, Telmo Giolito. **PTR-2501 – ferrovias**. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004. 81 p.

PRODANOV, Cleber Cristiano *et al.* **Manual de metodologia científica**. 2. ed. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013. 275 p.

RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A – NV3 250 – **Especificações técnicas para fornecimento de dormente de madeira**. 1978.

RODRIGUES, Daniela Dias. **Manutenção e Conservação de Vias Férreas: Análise de Casos Práticos**. 2012, 129 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra – PT, 2012.

RODRIGUES, Hélio Suêvo. **Manual básico de engenharia ferroviária**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 360 p. Disponível em: <<https://ebooks.ofitexto.com.br/epubreader/manual-bsico-de-engenharia-ferroviria>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Estradas de ferro via permanente – superestrutura**. 2011. Disponível em <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2012/11/02-via-permanente-superestrutura.pdf>> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

RUMO. **Manual de Treinamento em Geometria e Trilho**. Operação Sul, 2017, 26 p.

SEMPREBONE, Paula da Silva. **Desgastes em trilhos ferroviários – Um estudo teórico**. 2006. 153 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado). Universidade Estadual de Campinas. Brasil. 2006.

SILVA, Carlos Filipe Santos Correia e. **Análise de tensões em pavimentos a partir de modelo físico instrumentado**. 2014. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.

SILVA, Eduardo Teixeira Fonseca e. **Análise da evolução dos defeitos de bitola na via permanente da MRS para planejamento de intervenções preditivas de manutenção**. Secretaria da Ciência e Tecnologia. 2006. 73 f. Monografia (Especialização) - Instituto Militar de Engenharia.

STEFFLER, Fabio. **Via Permanente Aplicada: Guia teórico e Prático**. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2013. 326 p.

VALE. **Manual Técnico da Via Permanente**. Brasil. Revisão 2009, 362 p.

VIDON JUNIOR, Walter. **Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas**. Brasil: IME – Instituto Militar de Engenharia, 2011. 233 p.

## APÊNDICE A

### Cálculo: Atividade de Substituição de Novos Dormentes de Madeira

- Conforme o Procedimento Operacional da MRS Logística S.A, são necessários 1852 dormentes em 1 km de extensão de linha férrea, tendo como espaçamento 54,0cm. Portanto para encontrar a quantidade total para substituição de dormentes em 800m é necessário dividir a extensão da curva pelo valor do espaçamento. Sendo  $y$  o número total de dormentes a serem substituídos, de acordo com a equação 1.0.

$$y = \frac{800m}{0,54m} = 1.481 \text{ dormentes} \quad (1.0)$$

- Para o custo final da atividade de substituição de novos dormentes de madeira, foi levado em consideração o valor de cada dormente de madeira, a quantidade de acessórios de fixação por dormente e a execução do serviço.

A Tabela 11 mostra a quantidade de acessório de fixação por dormente.

Tabela 11: Quantidade de acessório de fixação por dormente.

Item	Quantidade por dormente (unidade)
Placa de apoio	2
<i>Tirefond</i>	8
Arruela	8
Grampo <i>Pandrol</i>	2

Fonte: Dos autores, 2020.

A Tabela 12 demonstra o valor da quantidade total de dormentes a serem substituídos.

Tabela 12: Preço total dos dormentes de madeira.

Descrição do Material	Preço Unitário x Quantidade de Dormentes
Dormente de madeira	R\$ 161,82 x 1.481 = R\$ 239.655,42

Fonte: Dos autores, 2020.

A Tabela 13 representa o valor de cada acessório de fixação por dormente implantado na curva.

Tabela 13: Valor de cada acessório por dormente.

Acessório de fixação	Preço Unitário em Reais x Quantidade de dormentes x Quantidade de acessório por dormente
Placa de apoio	R\$ 32,00 x 1.481 x 2 = R\$ 94.784,00
<i>Tirefond</i>	R\$ 4,13 x 1.481 x 8 = R\$ 48.932,24
Arruela	R\$ 1,41 x 1.481 x 8 = R\$ 16.705,68
Grampo <i>Pandrol</i>	R\$ 5,10 x 1.481 x 2 = R\$ 15.106,20

Fonte: Dos autores, 2020.

A Tabela 14 mostra o custo referente a atividade de substituição de novos dormentes de madeira.

Tabela 14: Custo da atividade de substituição de dormente.

Descrição da atividade	Preço Unitário x Quantidade de dormentes
Substituição de dormente	R\$ 54,00 x 1.481 = R\$ 79.974,00

Fonte: Dos autores, 2020.

O custo referente a atividade extra de correção de bitola necessário ao substituir novos dormentes de madeira na curva com a extensão de 800 m é expresso conforme a Tabela 15.

Tabela 15: Custo da atividade de correção de bitola.

Descrição da atividade	Preço Unitário x Extensão em metros
Correção de bitola	R\$ 28,86 x 800 = R\$ 16.688,00

Fonte: Dos autores, 2020.

Após o cálculo dos custos de cada material e do serviço a ser executado, a Tabela 16 mostra o somatório final do custo da atividade de substituição de novos dormentes de madeira.

Tabela 16: Custo final da atividade de dormentes de madeira.

Descrição do serviço/material	Preço unitário (R\$)
Dormente de madeira	R\$ 239.655,42
Placa de apoio	R\$ 94.784,00
<i>Tirefond</i>	R\$ 48.932,24
Arruela	R\$ 16.705,68
<i>Grampo Pandrol</i>	R\$ 15.106,20
Substituição de dormente	R\$ 79.974,00
Correção de bitola	R\$ 16.688,00
<b>Custo total da atividade de manutenção</b>	<b>R\$ 511.845,54</b>

Fonte: Dos autores, 2020.

## APÊNDICE B

### Cálculo: Atividade de Substituição de Dormentes de Madeira para Aço

- Conforme o Procedimento Operacional da MRS Logística S.A, são necessários 1695 dormentes em 1km de extensão de linha férrea, tendo como espaçamento 59,0cm. Portanto para encontrar a quantidade total para implantação de dormentes em 800m é necessário dividir a extensão da curva pelo espaçamento. Sendo  $y$ , o número total de dormentes a serem implantados, de acordo com a equação 2.0.

$$y = \frac{800m}{0,59m} = 1.356 \text{ dormentes} \quad (2.0)$$

- Para o custo final da atividade de implantação de dormentes de aço, foi levado em consideração o valor de cada dormente e a execução do serviço.

A Tabela 17 mostra o valor da quantidade total de dormentes de aço a serem implantados na curva em análise.

Tabela 17: Preço total dos dormentes de aço.

Descrição do serviço/material	Preço unitário x Quantidade de dormentes
Dormente de madeira	R\$ 431,25 x 1.356 = R\$ 584.775,00

Fonte: Dos autores, 2020.

A Tabela 18 apresenta o custo referente a atividade de implantação dos dormentes de aço.

Tabela 18: Custo da atividade de implantação de dormente de aço.

<b>Descrição da atividade</b>	<b>Preço Unitário x Quantidade de dormentes</b>
Implantação de dormente de aço	R\$ 78,98 x 1.356 = R\$ 107.096,88

Fonte: Dos autores, 2020.

Após o cálculo dos custos de cada material e do serviço a ser executado, a Tabela 19 mostra o somatório final do custo da atividade de substituição de novos dormentes de madeira.

Tabela 19: Custo final da atividade de dormentes de madeira.

Fonte: Dos autores, 2020.

<b>Descrição do serviço/material</b>	<b>Preço total em Reais</b>
Dormente de aço	R\$ 584.775,00
Atividade de substituição de dormente de madeira para aço	R\$ 107.096,88
<b>Custo total da atividade de manutenção</b>	<b>R\$ 691.871,88</b>

### **Cálculo: Comparativo entre os Custos das Atividades Preventivas**

Para a definição do melhor serviço a ser executado foram comparados os valores referentes as duas atividades de implantação de dormentes. O custo total da atividade de substituição de novos dormentes de madeira foi estimado em R\$ 511.845,54 e o custo referente a implantação de dormente de aço em R\$ 691.871,88.

A partir disso, foi realizado o cálculo comparando o custo que a atividade de aço representa em função da atividade de substituição de dormente de madeira, conforme equação 3.0, sendo  $y$  o valor em porcentagem da comparação calculada.

$$y = 100 \% - \left( \frac{511.845,54}{691.871,88} \right) \times 100 = 26,02\% \quad (3.0)$$