

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO
PATROCÍNIO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO FERROVIÁRIA DA
FCA/VLI EM PATROCÍNIO – MG**

Flávio César Apolinário Júnior

PATROCÍNIO – MG

2019

FLÁVIO CÉSAR APOLINÁRIO JÚNIOR

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO FERROVIÁRIA DA
FCA/VLI EM PATROCÍNIO – MG**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como exigência parcial
para obtenção do grau de Bacharelado
em Engenharia Civil, pelo Centro
Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes

PATROCÍNIO – MG

2019

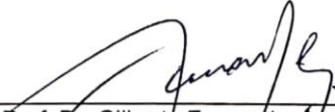
ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 3 dias do mês de julho de 2019, às 19:00 horas, em sessão pública na sala 701-05 deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Dr. Gilberto Fernandes e composta pelos examinadores:

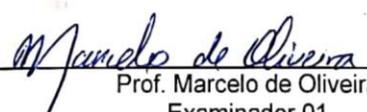
1. Prof. Marcelo de Oliveira

2. Profª. Ma. Mariana Milla Assunção de Araújo,

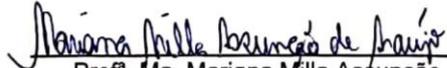
o aluno Flávio César Apolinário Júnior apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Análise do sistema de manutenção ferroviária da FCAMli em Patrocínio-MG como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Engenharia Civil. Após reunião em sessão reservada, os professores decidiram da seguinte forma: O Avaliador 01 decidiu pela Aprovação, o Avaliador 02 decidiu pela Aprovação, sendo resultado final da Banca Examinadora, a decisão final pela Aprovação do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.



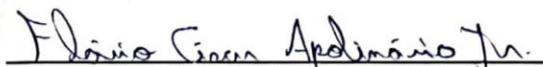
Prof. Dr. Gilberto Fernandes
Presidente da Banca Examinadora



Prof. Marcelo de Oliveira
Examinador 01



Profª. Ma. Mariana Milla Assunção de Araújo
Examinador 02



Flávio César Apolinário Júnior
Aluno

RESUMO

No cenário econômico brasileiro atual, o uso de ferrovias é de vital importância, uma vez que possui capacidade de transportar grandes volumes de carga, gerando economia no transporte em relação a outros modais. A análise e correção de defeitos e desgastes da ferrovia são processos fundamentais para um desenvolvimento logístico de qualidade. Este trabalho tem objetivo de analisar e compreender o sistema de manutenção da linha ferroviária de Patrocínio, analisando quais parâmetros são de vital importância para a manutenção da via, visando a preservação e aumento da vida útil da mesma. Analisando os parâmetros que são coletados pela ferramenta de análise da superestrutura da via, chamada carro controle, e comparando com definições teóricas de geometria de vias, é possível examinar quais parâmetros geométricos são mais importantes para averiguar as patologias presentes no trecho e se os dados coletados por esta ferramenta são suficientes para que a manutenção seja realizada de forma eficiente. Após o estudo, os dados coletados pela empresa ferroviária, é possível concluir que a concessionária dispõe de ferramentas de alta precisão e que de fato possibilita a leitura dos parâmetros mais relevantes na manutenção, gera relatórios que podem ser personalizados de acordo com cada trecho, possui fácil visualização e interpretação, além de poder acompanhar a evolução dos defeitos e desgaste natural da via a partir de programa de manutenção indicando os pontos e o momento da intervenção, evitando assim o acidente e a interdição do tráfego.

Palavras-chave: Ferrovia. Manutenção. Superestrutura. Eficiência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Via Permanente Ferroviária.....	11
Figura 2 – Superestrutura Ferroviária	21
Figura 3 – Dormente de Madeira.....	23
Figura 4 – Dormente de Concreto Armado Monobloco não Protendido	24
Figura 5 – Dormente Monobloco de Concreto Protendido.....	24
Figura 6 – Dormente Bi-bloco	25
Figura 7 – Dormente de Aço	25
Figura 8 – Perfil Vignole	27
Figura 9 – Bitola da Via.....	29
Figura 10 – Alargamento de Bitola	30
Figura 11 – Estreitamento de Bitola	31
Figura 12 – Curva Circular	33
Figura 13 – Curva com Segmentos de Transição em Espiral.....	34
Figura 14 – Superelevação	35
Figura 15 – Desnívelamento Longitudinal da via.....	38
Figura 16 – Verificação de Flecha.....	40
Figura 17 – Desalinhamento da Via	40
Figura 18 – Empeno.....	41
Figura 19 – Torção no Trilho	42
Figura 20 – Disposição das câmeras e emissores de laser do sistema de aquisição de dados TEV	48
Figura 21 – Trolley de geometria de via	50
Figura 22 – Carro Controle NomadTan	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e Desvantagens dos Tipos mais comuns de Dormentes	26
Tabela 2 – Perfis de Trilhos	27
Tabela 3 – Dados do Relatório do Carro Controle.....	57
Tabela 4 – Classes de Vias.....	62
Tabela 5 – Tolerâncias de bitola	62
Tabela 6 – Empeno Máximo para Curvas	64
Tabela 7 – Empeno Máximo para Tangentes.....	65
Tabela 8 – Variação Máxima de Flecha com Corda de 10m	67
Tabela 9 – Variação Máxima de Flecha com Corda de 12m	67
Tabela 10 – Defeitos máximos para cada classe de linha de acordo com a AAR	68

LISTA DE SIGLAS

AAR – *Association of American Railroads*

GPS – Sistema de Posicionamento Global

NBR – Norma Brasileira

TEV – Veículo de avaliação de via

TKB – Tonelada Bruta Transportada

VMA – Velocidade máxima admissível

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
3 OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo geral.....	15
3.2 Objetivos específicos	15
4 DESENVOLVIMENTO	16
4.1 INTRODUÇÃO.....	17
4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.2.1 Superestrutura ferroviária	21
4.2.1.1 Lastro.....	22
4.2.1.2 Dormentes	23
4.2.1.3 Trilhos.....	26
4.2.2 Geometria da via permanente.....	28
4.2.2.1 Bitola.....	28
4.2.2.1.1 Alargamento de bitola	30
4.2.2.1.2 Estreitamento de bitola	31
4.2.2.2 Tangentes e curvas.....	32
4.2.2.2.1 Curva circular	32
4.2.2.2.2 Curvas com segmentos de transição em espiral	34
4.2.2.3 Superelevação	35
4.2.2.4 Nivelamento da via.....	37
4.2.2.4.1 Nivelamento longitudinal	37
4.2.2.4.2 Nivelamento transversal.....	38
4.2.2.5 Flecha e alinhamento da via	39
4.2.2.6 Empeno	41
4.2.2.7 Torção.....	42
4.2.3 Definições de tolerâncias dos parâmetros de geometria da via.....	42

4.2.4 Abordagens da manutenção	43
4.2.4.1 Manutenção corretiva.....	44
4.2.4.2 Manutenção preventiva.....	44
4.2.4.3 Manutenção preditiva.....	46
4.2.5 Sistemas de inspeções geométricas ferroviários.....	46
4.2.5.1 Carro controle	47
4.2.5.2 Trolley de geometria de via	49
4.2.6 Parâmetros fundamentais para supervisão da via permanente.....	51
4.3 MATERIAS E MÉTODOS	52
4.4 COLETA DE DADOS.....	53
4.4.1 Inspeção via permanente.....	54
4.4.2 Caso prático.....	55
4.4.2.1 Análise de quais parâmetros geométricos são coletados.....	61
4.4.2.1.1 Bitola.....	62
4.4.2.1.2 Empeno em curvas	63
4.4.2.1.3 Empeno em tangentes	64
4.4.2.1.4 Superelevação	65
4.4.2.1.5 Alinhamento e flecha.....	66
4.4.2.2 Parâmetros adotados nas inspeções do carro controle.....	68
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
5 CONCLUSÃO.....	72
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso que analisa a eficiência da manutenção ferroviária da via que passa pela cidade de Patrocínio. A estrutura do trabalho é baseada em dados obtidos em pesquisa bibliográfica, os quais tem o objetivo de auxiliar no estudo e compreensão dos métodos mais relevantes abordados em manutenção da via permanente.

Sob grande importância no cenário econômico nacional e mundial, o modal ferroviário é responsável por transportar cargas de 80 a 120 toneladas por vagão, tornando-se o meio de transporte terrestre mais eficiente e seguro para longas distâncias e/ou grandes volumes de carga.

A via permanente é a designação dada para o conjunto de camadas e elementos que proporciona o tráfego dos trens, e são divididos em duas partes: Infraestrutura e superestrutura.

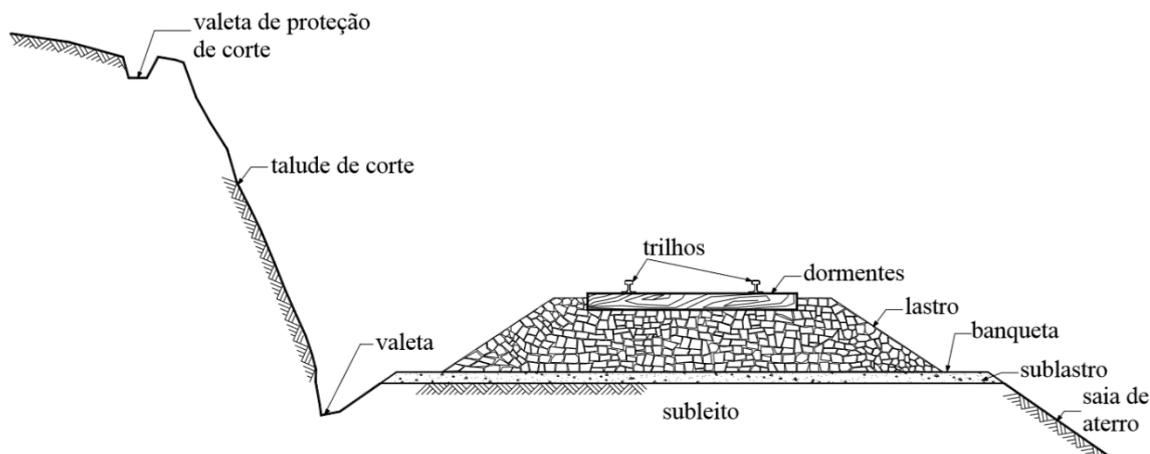


Figura 1 – Via Permanente Ferroviária

Fonte: SILVA, 2002.

Como cita FERNANDES (2005), a infraestrutura é dada pela junção das diversas camadas estruturais (subleito, sublastro, sub-base, base), com especificações químicas e físicas distintas, afim de garantir padrões de estabilidade e resistência mecânica no sistema para absorver os esforços e cargas externas atuantes ao decorrer da vida útil da obra. Em outras palavras é o conjunto de obras com a finalidade de compor a plataforma da ferrovia, situada abaixo do greide de terraplanagem.

Esse modelo estrutural é representado sob carga vertical, no qual:

- Subleito: camada final da terraplanagem, uma vez que os 20 cm finais da mesma têm a finalidade de aumentar a capacidade de suporte da plataforma, evitar a penetração do lastro na plataforma, aumentar a resistência do leito a erosão e penetração de água e permitir elasticidade ao apoio do lastro.
- Sublastro: camada de proteção do subleito, reduz as tensões e proporciona amortecimento para o sistema.

Segundo SILVA (2002), fazem parte da Superestrutura: o trilho; fixação do trilho ao dormente; retensores; talas de junção; palmilhas; dormente e lastro.

Para simplificar os conceitos na superestrutura ferroviária, SPADA (2003) nos cita os itens da superestrutura mais relevantes para estudo e suas devidas funções:

- Trilhos: Servem como guia de rodas do trem, afim de percorrer o eixo da via ao longo de uma superfície prescrita;
- Dormente: Servem como suporte e fixação para os trilhos, afim de evitar a variação de distância entre os trilhos (bitola), e recebe os esforços transmitidos pelas cargas de rodas e transmite ao lastro.
- Lastro: Tem função de conter a grade (trilhos e dormentes), fornecendo amortecimento ao sistema, facilitando a manutenção da geometria da via e diminuindo as tensões sobre a infraestrutura.

FERNANDES (2005), destaca que um projeto estrutural de um sistema viário sofre interferência de diversos fatores, como os principais: número e magnitude de cargas atuantes, os materiais componentes da camada, a natureza do solo de subleito, condições de drenagem e aspectos ambientais.

SILVA (2002), cita que o sistema de pavimento ferroviário tem como função absorver de forma apropriada as cargas provenientes das passagens dos trens, uma vez que as solicitações devem ser suportadas, afim de evitar ruptura global ou localizada, e em manter a deformação em um nível aceitável do sistema. As deformações que acontecem no pavimento ferroviário, são principalmente de duas naturezas: as elásticas ou resilientes (deflexões) e as plásticas ou permanentes (recalques). São tradicionalmente consideradas na manutenção, pois são responsáveis pela perda de geometria da via, comprometendo a qualidade operacional e funcional, quanto a vida útil dos componentes da mesma. Quanto maiores as deflexões, mais rapidamente a geometria é afetada.

Entende-se por manutenção o ato de interferir no sistema afim de recompor as condições ideais de trabalho e tráfego, afim de se manter os parâmetros de geometrias especificadas em projeto. Levando em consideração tais informações, compreende-se que a manutenção é primordial para a longevidade da via permanente.

Dentro do tema manutenção, podemos ramifica-la em três tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

- **Manutenção Corretiva:** É utilizada apenas quando um equipamento apresenta quebra ou falha. Este método é indesejado e deve ser evitado, pois não utiliza planejamento, acontece quando não há um bom plano de manutenção e revisão dos equipamentos, o que gera atrasos indesejados e prejuízos financeiros.
- **Manutenção Preventiva:** Corrige os problemas e falhas antes deles ocorrerem, o que gera redução de custos em relação a manutenção corretiva e aumenta a eficiência da manutenção, uma vez que ele pode ser programada e executada conforme disponibilidade de estoque de peças e materiais.

- **Manutenção Preditiva:** É a manutenção de acompanhamento e planejamento mais preciso, exige maior qualificação do profissional e o principal objetivo é evitar qualquer tipo de falha do material empregado, antes mesmo de apresentar qualquer manifestação patológicas. Se dá pela supervisão de parâmetros ideais da geometria da via. Com esse acompanhamento constante a manutenção é planejada antes do fim da vida útil dos componentes, podendo assim ser programada a melhor ocasião para realizar a troca de componentes, sem intervir na logística do transporte ferroviário.

Para monitorar os desgastes e condições do pavimento ferroviário, assim como planejar as manutenções necessárias, a ferramenta mais comumente usada é o carro controle, ou TEV (Veículo de Avaliação da Via).

Geralmente o carro controle é um caminhão com sistema rodoferroviário de eixos, que o torna mais flexível no deslocamento entre os trechos rodoviário e ferroviário, ocasionando mais agilidade para realização das atividades.

Além disso, o sistema permite uma completa avaliação do estado dos trilhos, bitola, lastro, dormentes, placas de apoio e das fixações, o que é de grande importância para a qualidade e segurança da via permanente.

Através destas leituras, os principais parâmetros fornecidos pelo carro controle são: Sistema de medição de resistência de bitola, torção, empeno, alinhamento e nivelamento longitudinal dos trilhos, bitola e desgaste do trilho.

2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Para se garantir o correto funcionamento da via férrea, com condições estáveis de tráfego, deve-se manter as características originais da via, que é alcançada através das manutenções, mantendo a geometria da via dentro dos parâmetros aceitáveis.

Quando a manutenção não é realizada de maneira devida, a via se desgasta prematuramente, diminuindo a vida útil da linha férrea. Em uma via que a manutenção não é feita de maneira eficiente, pode-se observar que os acidentes são mais frequentes, o que gera prejuízos para as companhias ferroviárias, ocasionando atraso no transporte e danos nos vagões e locomotivas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar o programa de manutenção da via férrea de Patrocínio, que é obtida pelo carro controle e comparar os parâmetros que são coletados com referências literárias.

3.2 Objetivos específicos

- Compreender quais os dados são coletados pelo sistema de manutenção;
- Verificar se os parâmetros de leitura obtidos são suficientes para a correta manutenção da via.
- Verificar se o programa de manutenção na malha ferroviária de Patrocínio é eficiente.

4 DESENVOLVIMENTO

ANÁLISE DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO FERROVIÁRIA DA FCA/VLI EM PATROCÍNIO – MG

FLÁVIO CÉSAR APOLINÁRIO JÚNIOR¹
GILBERTO FERNANDES²

RESUMO

No cenário econômico brasileiro atual, o uso de ferrovias é de vital importância, uma vez que possui capacidade de transportar grandes volumes de carga, gerando economia no transporte em relação a outros modais. A análise e correção de defeitos e desgastes da ferrovia são processos fundamentais para um desenvolvimento logístico de qualidade. Este trabalho tem objetivo de analisar e compreender o sistema de manutenção da linha ferroviária de Patrocínio, analisando quais parâmetros são de vital importância para a manutenção da via, visando a preservação e aumento da vida útil da mesma. Analisando os parâmetros que são coletados pela ferramenta de análise da superestrutura da via, chamada carro controle, e comparando com definições teóricas de geometria de vias, é possível examinar quais parâmetros geométricos são mais importantes para averiguar as patologias presentes no trecho e se os dados coletados por esta ferramenta são suficientes para que a manutenção seja realizada de forma eficiente. Após o estudo, os dados coletados pela empresa ferroviária, é possível concluir que a concessionária dispõe de ferramentas de alta precisão e que de fato possibilita a leitura dos parâmetros mais relevantes na manutenção, gera relatórios que podem ser personalizados de acordo com cada trecho, possui fácil visualização e interpretação, além de poder acompanhar a evolução dos defeitos e desgaste natural da via a partir de programa de manutenção indicando os pontos e o momento da intervenção, evitando assim o acidente e a interdição do tráfego.

Palavras-chave: Ferrovia. Manutenção. Superestrutura. Eficiência.

¹ Autor, Graduando em Engenharia Civil pelo UNICERP.

² Orientador, Professor de Graduação do UNICERP, Doutor em Engenharia Civil com ênfase em Pavimentação Rodoviária.

4.1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso que analisa a eficiência da manutenção ferroviária da via que passa pela cidade de Patrocínio. A estrutura do trabalho é baseada em dados obtidos em pesquisa bibliográfica, os quais tem o objetivo de auxiliar no estudo e compreensão dos métodos mais relevantes abordados em manutenção da via permanente.

Sob grande importância no cenário econômico nacional e mundial, o modal ferroviário é responsável por transportar cargas de 80 a 120 toneladas por vagão, tornando-se o meio de transporte terrestre mais eficiente e seguro para longas distâncias e/ou grandes volumes de carga.

A via permanente é a designação dada para o conjunto de camadas e elementos que proporciona o tráfego dos trens, e são divididos em duas partes: Infraestrutura e superestrutura.

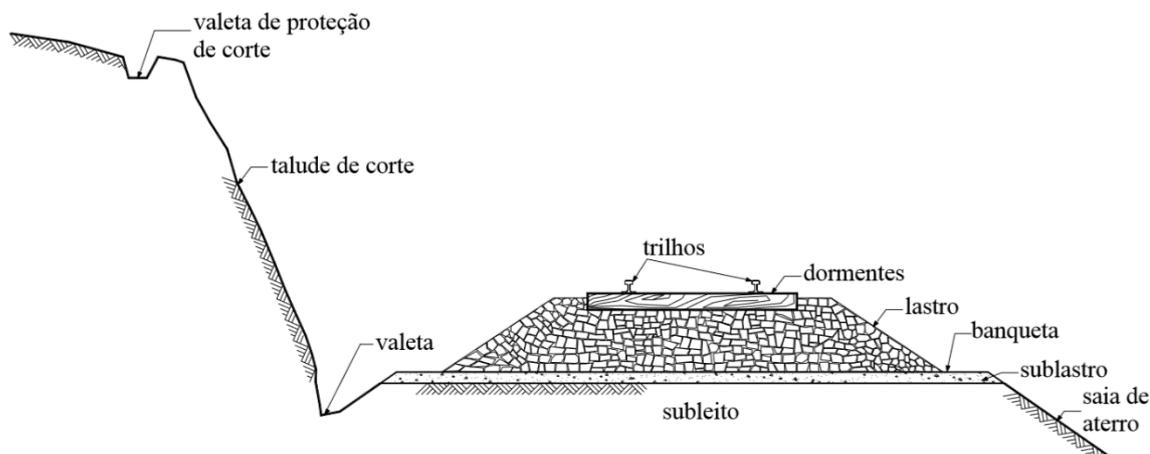


Figura 2 – Via Permanente Ferroviária

Fonte: SILVA, 2002.

Como cita FERNANDES (2005), a infraestrutura é dada pela junção das diversas camadas estruturais (subleito, sublastro, sub-base, base), com especificações químicas e físicas distintas, afim de garantir padrões de estabilidade e resistência mecânica no sistema para absorver os esforços e cargas externas atuantes ao decorrer da vida útil da obra. Em outras palavras é o conjunto de obras com a finalidade de compor a plataforma da ferrovia, situada abaixo do greide de terraplanagem.

Esse modelo estrutural é representado sob carga vertical, no qual:

- Subleito: camada final da terraplanagem, uma vez que os 20 cm finais da mesma têm a finalidade de aumentar a capacidade de suporte da plataforma, evitar a penetração do lastro na plataforma, aumentar a resistência do leito a erosão e penetração de água e permitir elasticidade ao apoio do lastro.
- Sublastro: camada de proteção do subleito, reduz as tensões e proporciona amortecimento para o sistema.

Segundo SILVA (2002), fazem parte da Superestrutura: o trilho; fixação do trilho ao dormente; retensores; talas de junção; palmilhas; dormente e lastro.

Para simplificar os conceitos na superestrutura ferroviária, SPADA (2003) nos cita os itens da superestrutura mais relevantes para estudo e suas devidas funções:

- Trilhos: Servem como guia de rodas do trem, afim de percorrer o eixo da via ao longo de uma superfície prescrita;
- Dormente: Servem como suporte e fixação para os trilhos, afim de evitar a variação de distância entre os trilhos (bitola), e recebe os esforços transmitidos pelas cargas de rodas e transmite ao lastro.
- Lastro: Tem função de conter a grade (trilhos e dormentes), fornecendo amortecimento ao sistema, facilitando a manutenção da geometria da via e diminuindo as tensões sobre a infraestrutura.

FERNANDES (2005), destaca que um projeto estrutural de um sistema viário sofre interferência de diversos fatores, como os principais: número e magnitude de cargas atuantes, os materiais componentes da camada, a natureza do solo de subleito, condições de drenagem e aspectos ambientais.

SILVA (2002), cita que o sistema de pavimento ferroviário tem como função absorver de forma apropriada as cargas provenientes das passagens dos trens, uma vez que as solicitações devem ser suportadas, afim de evitar ruptura global ou localizada, e em manter a deformação em um nível aceitável do sistema. As deformações que acontecem no pavimento ferroviário, são principalmente de duas naturezas: as elásticas ou resilientes (deflexões) e as plásticas ou permanentes (recalques). São tradicionalmente consideradas na manutenção, pois são responsáveis pela perda de geometria da via, comprometendo a qualidade operacional e funcional, quanto a vida útil dos componentes da mesma. Quanto maiores as deflexões, mais rapidamente a geometria é afetada.

Entende-se por manutenção o ato de interferir no sistema afim de recompor as condições ideais de trabalho e tráfego, afim de se manter os parâmetros de geometrias especificadas em projeto. Levando em consideração tais informações, compreende-se que a manutenção é primordial para a longevidade da via permanente.

Dentro do tema manutenção, podemos ramifica-la em três tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

- **Manutenção Corretiva:** É utilizada apenas quando um equipamento apresenta quebra ou falha. Este método é indesejado e deve ser evitado, pois não utiliza planejamento, acontece quando não há um bom plano de manutenção e revisão dos equipamentos, o que gera atrasos indesejados e prejuízos financeiros.
- **Manutenção Preventiva:** Corrige os problemas e falhas antes deles ocorrerem, o que gera redução de custos em relação a manutenção corretiva e aumenta a eficiência da manutenção, uma vez que ele pode ser programada e executada conforme disponibilidade de estoque de peças e materiais.

- **Manutenção Preditiva:** É a manutenção de acompanhamento e planejamento mais preciso, exige maior qualificação do profissional e o principal objetivo é evitar qualquer tipo de falha do material empregado, antes mesmo de apresentar qualquer manifestação patológicas. Se dá pela supervisão de parâmetros ideais da geometria da via. Com esse acompanhamento constante a manutenção é planejada antes do fim da vida útil dos componentes, podendo assim ser programada a melhor ocasião para realizar a troca de componentes, sem intervir na logística do transporte ferroviário.

Para monitorar os desgastes e condições do pavimento ferroviário, assim como planejar as manutenções necessárias, a ferramenta mais comumente usada é o carro controle, ou TEV (Veículo de Avaliação da Via).

Geralmente o carro controle é um caminhão com sistema rodoferroviário de eixos, que o torna mais flexível no deslocamento entre os trechos rodoviário e ferroviário, ocasionando mais agilidade para realização das atividades.

Além disso, o sistema permite uma completa avaliação do estado dos trilhos, bitola, lastro, dormentes, placas de apoio e das fixações, o que é de grande importância para a qualidade e segurança da via permanente.

Através destas leituras, os principais parâmetros fornecidos pelo carro controle são: Sistema de medição de resistência de bitola, torção, empeno, alinhamento e nivelamento longitudinal dos trilhos, bitola e desgaste do trilho.

4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1 Superestrutura ferroviária

É denominada superestrutura ferroviária a superfície de rolamento para os veículos ferroviários, e basicamente são compostos por três elementos principais: o lastro, os dormentes e os trilhos. A superestrutura está sujeita a ações que a desgasta, como a ação das rodas nos trilhos e fatores climáticos. Quando esse desgaste excede os níveis de tolerância exigidos para a segurança do transporte, a superestrutura pode ser reparada ou até mesmo substituída (BRINA, 1979).

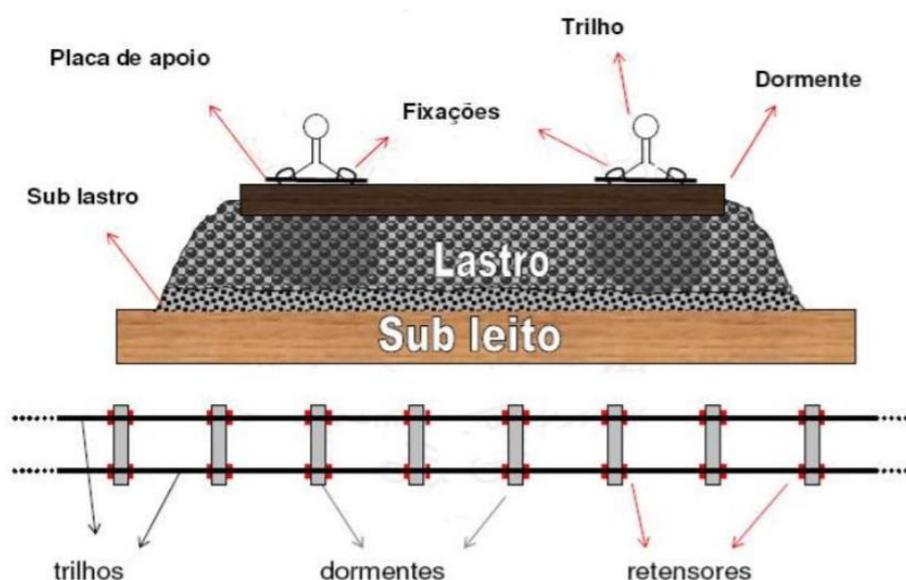


Figura 3 – Superestrutura Ferroviária

Fonte: MAIA, 2018.

4.2.1.1 Lastro

O lastro é um elemento da superestrutura ferroviária situada entre o sublastro e a grade constituída pelos trilhos, dormentes e acessórios de fixação, devendo ser uma camada de material permeável e resistente, fornecendo amortecimento para o sistema, distribuindo as cargas, mantendo a geometria da via e formando uma superfície contínua e uniforme. Os materiais que compõem o lastro podem ser: areia, cascalho, escórias e pedra britada, sendo este último o mais usado para tal finalidade, devido a sua resistência e sua permeabilidade, que possibilita o fácil nivelamento da linha através da socaria de lastro (FERNANDES, 2005).

Para que o lastro tenha um comportamento satisfatório, deve-se cumprir as seguintes funções:

- Resistir a forças verticais, laterais e longitudinais, a fim de manter a via férrea em condições operacionais.
- Dotar a via férrea de resiliência adequada.
- Possuir vazios suficientes para alojar possíveis materiais finos de contaminação e permitir a movimentação destas partículas.
- Facilitar a recomposição da geometria da via férrea, principalmente por equipamentos mecânicos.
- Ser dotado de alta capacidade drenante.
- Reduzir as tensões, principalmente na região de apoio dos dormentes, a níveis compatíveis com a capacidade de suporte do subleito.
- Inibir o crescimento de vegetação (fundamental para a capacidade drenante, resiliência e condições de rolamento da via).
- Diminuir a propagação sonora da passagem dos trens.
- Constituir adequada resistência elétrica entre os trilhos.
- Facilitar a conservação, remodelação e renovação da via férrea.

4.2.1.2 Dormentes

Dormentes são vigas posicionadas transversalmente em relação ao trilho e tem a função de receber os esforços gerados pelas cargas dos trens e transmitir ao lastro além de amortecer as vibrações. Os dormentes servem também de suporte para os trilhos através da fixação a fim de garantir que a bitola da linha férrea seja invariável. Para cumprir tal função é fundamental que os dormentes possuam algumas características como: durabilidade, dimensões compatíveis para o apoio dos trilhos, facilidade de manuseio, rigidez que permita elasticidade, garantia de estabilidade vertical, horizontal e longitudinal da via. Os dormentes podem ser constituídos de madeira, aço e concreto, sendo o de madeira o mais utilizado nas ferrovias brasileiras (PORTO, 2004).

Os dormentes de madeira possuem grande durabilidade (15 a 20 anos) e resistência, dependendo do tipo de madeira utilizada. É necessário realizar um tratamento químico nos dormentes para estender a sua vida útil, diminuindo a suscetibilidade ao apodrecimento.

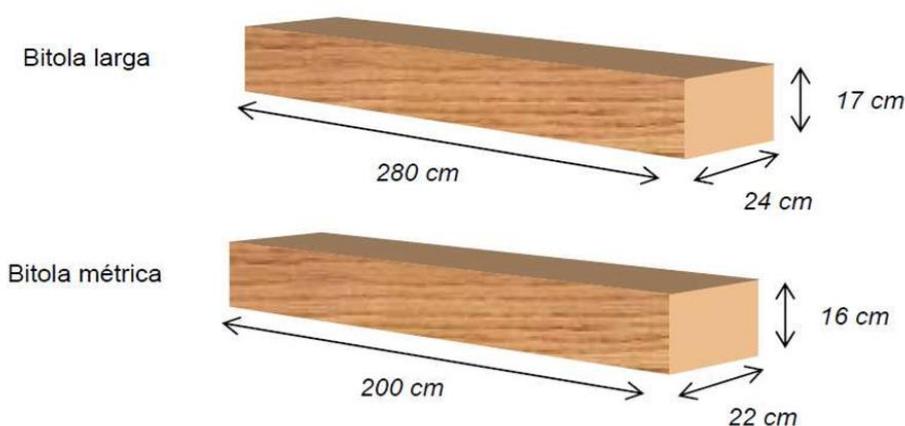


Figura 4 – Dormente de Madeira

Fonte: PORTO, 2004.

Após a segunda Guerra Mundial, o dormente de concreto armado monobloco não protendido passou a ser utilizado, porém foi verificado que após pouco tempo de uso apresentava fissuras na parte central superior da peça, como é mostrado na FIG. 4:

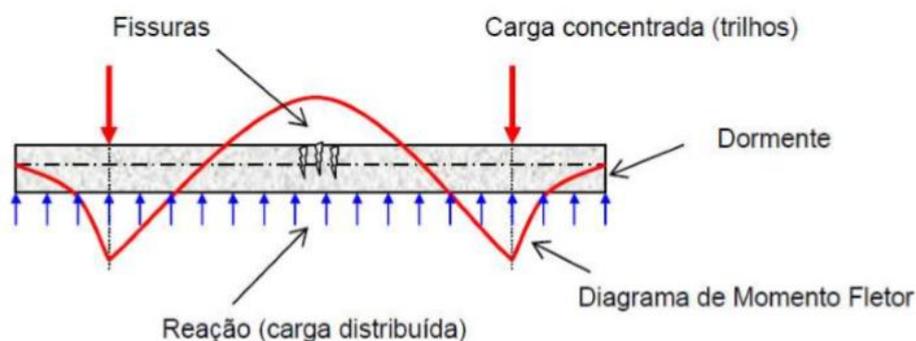


Figura 5 – Dormente de Concreto Armado Monobloco não Protendido

Fonte: PORTO, 2004.

Atualmente, os dormentes de concreto utilizados são fabricados com diferentes tecnologias, como os monoblocos protendidos, que como o nome já diz, é fabricado utilizando o concreto protendido, e os bi-bloco. Os dormentes de concreto são mais duráveis, resistentes, fáceis de fabricar e de alterar a geometria. O elevado peso dos dormentes de concreto auxilia para a estabilidade da via, mas dificulta as operações de construção e de manutenção (PORTO, 2004).



Figura 6 – Dormente Monobloco de Concreto Protendido

Fonte: PORTO, 2004.

Os dormentes bi-bloco são fabricados com dois blocos de concreto armado interligados por uma barra de aço. Uma das desvantagens dos dormentes de concreto, encontram-se baixa capacidade de absorver vibrações, aumento de cerca de 25% na transmissão de cargas dinâmicas para o lastro e aumento dos riscos de dano por impacto.

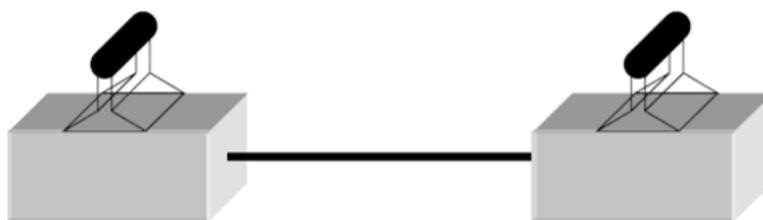


Figura 7 – Dormente Bi-bloco

Fonte: PORTO, 2004.

Dormentes de aço são feitos de chapa de aço carbono laminada em seção “U” curvada em suas extremidades, formando garras com o intuito de se afundarem e gerar aderência no lastro. Apresentam alta vida útil e boa conformidade geométrica, porém o custo elevado pode gerar inviabilidade em alguns projetos. São mais leves que os demais e desfavorece a estabilidade de vias que operam com grandes cargas, porém facilita as operações de construção e de manutenção.



Figura 8 – Dormente de Aço

Fonte: ACESSÓRIOS FERROVIÁRIOS, 2019.

Para fins de comparação, a tabela a seguir descreve algumas vantagens e desvantagens dos tipos de dormentes descritos:

Tabela 1 – Vantagens e Desvantagens dos Tipos mais comuns de Dormentes

Material	Vantagens	Desvantagens
Madeira	Menor massa - Fácil manuseio; Bom isolante; Fixações simples; Baixo nível de ruído.	Baixa vida útil; Ataque de fungos e insetos; Tratamento exige estoque; Oferta reduzida.
Concreto	Maior massa - Resistente a esforços; Manutenção da bitola; Isolante; Alta vida útil.	Difícil manuseio; Frágil em descarrilamentos; Substituição onerosa; Vulnerável a altas solicitações.
Aço	Manutenção da bitola; Recondicionável; Resistente a altas solicitações.	Massa reduzida - Falta de inércia; Alto nível de ruído; Não isolante.

Fonte: PORTO, 2004 (Adaptado).

4.2.1.3 Trilhos

São elementos da superestrutura que constitui a superfície de rolamento para as rodas dos veículos ferroviários, considerado como o principal componente da via, pois é responsável por guiar os veículos e detêm o maior custo absoluto dentre todos os outros elementos. É composto por dois perfis metálicos paralelos fixados aos dormentes através de acessórios de fixação. O perfil do trilho é dividido em três partes: boleto, alma e patim. Atualmente o perfil básico utilizado em trilhos ferroviários é do tipo Vignole, definido pela NBR 7590 (MACÊDO, 2009).

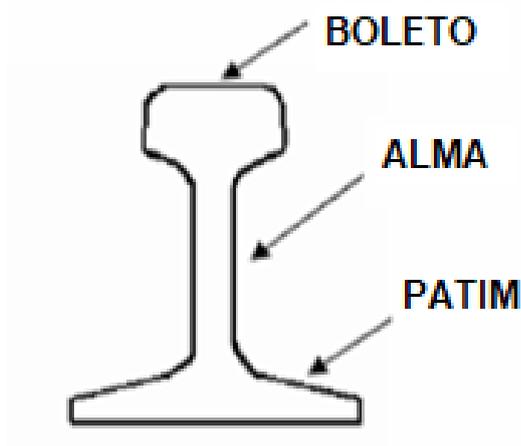


Figura 9 – Perfil Vignole

Fonte: MACÊDO, 2009.

Os trilhos são classificados diante sua seção e peso, que estão diretamente ligados com a capacidade de resistir a esforços verticais. O trilho é determinado a partir das cargas, velocidade e tráfego do trecho (FCA, 2009).

Tabela 2 – Perfis de Trilhos

Perfil do trilho	Peso Teórico (Kg/m)	Área (cm ²)	Momento de Inércia (Cm ⁴)	Módulo de resistência boleto (cm ³)	Módulo de resistência patim(cm ³)
TR 70	69,79	88,38	4181	414	462,12
TR 68	67,41	86,52	3920,9	388,37	462,12
UIC 60	60,21	76,7	3038,3	333,6	375,5
TR 57	56,9	72,56	2730,48	297	360,52
TR 50	50,35	64,19	2039,53	247,45	291,69
TR 45	44,65	56,9	1610,81	205,82	249,58
TR 40	39,68	50,71	1098,02	165,02	181,57
TR 37	37,2	47,39	951,4	149,1	162,9
TR 32	32,05	40,89	702	120,8	129,5
TR 25	24,65	31,42	413	81,53	86,6

Fonte: FCA, 2009 (adaptado).

4.2.2 Geometria da via permanente

A geometria da via permanente é a posição que cada fila do trilho ocupa no espaço, composto por perfil altimétrico, que são inclinações no sentido longitudinal e suas respectivas concordâncias verticais, e o perfil planimétrico, que indica variações de ambas as filas no sentido transversal.

Para o monitoramento dos parâmetros geométricos da via, deve-se conhecer a realidade do trecho analisado e suas características. A qualidade da via é definida por um conjunto de parâmetros em que os valores de tolerância são obtidos conforme as características de projeto do trecho, com o intuito de garantir a qualidade de circulação, segurança, planejamento de manutenção, diagnóstico do nível de degradação e o dimensionamento dos serviços de correção geométrica.

4.2.2.1 Bitola

Bitola é a distância interna entre os trilhos, medido de 14 a 16mm abaixo do topo do boleto, e sua principal função é servir de guia para o material rodante que transita pela via permanente.

Segundo LIMA (1998), a bitola da via é o principal parâmetro para a definição das características geométricas da via, pois é ela quem define a base do rolamento dos veículos ferroviários, dimensionando assim o tamanho dos dormentes, quantidade de lastro e os veículos que irão trafegar naquele trecho.

Existem vários tamanhos de bitola, sendo o mais usual no Brasil as bitolas denominadas “largas” (padrão norte americano), que possuem distância entre boletos dos trilhos de 1,60 m, bitolas “métricas” (padrão espanhol), cuja distância entre trilhos é de 1,00m e as de padrão “standard” (bitola internacional), que conferem distância de 1,435m.

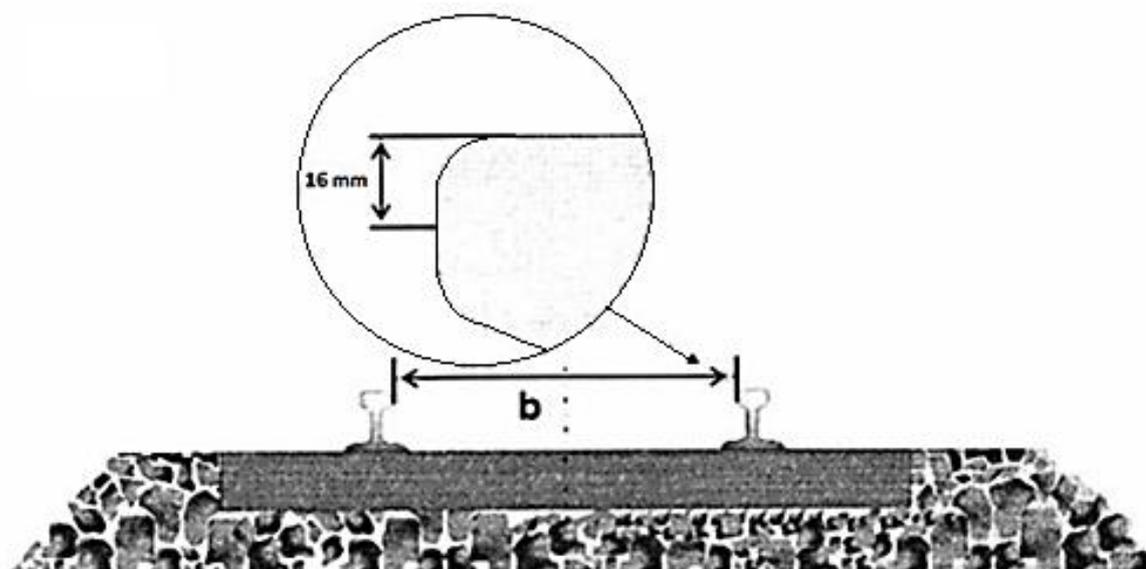


Figura 10 – Bitola da Via

Fonte: MAGALHÃES, 2007.

Quando os valores da bitola extrapolam os limites estabelecidos, resulta em defeitos na bitola, e acarretam problemas de alinhamento, comprometendo a segurança operacional e acelerando o processo de desgastes nos trilhos e das rodas dos veículos ferroviários (LIMA, 1998).

Os defeitos na bitola da via são divididos em: Alargamento e Estreitamento

4.2.2.1.1 Alargamento de bitola

Quando a medida entre os trilhos é superior ao valor máximo permitido, temos o alargamento de bitola da via (FIG. 10).

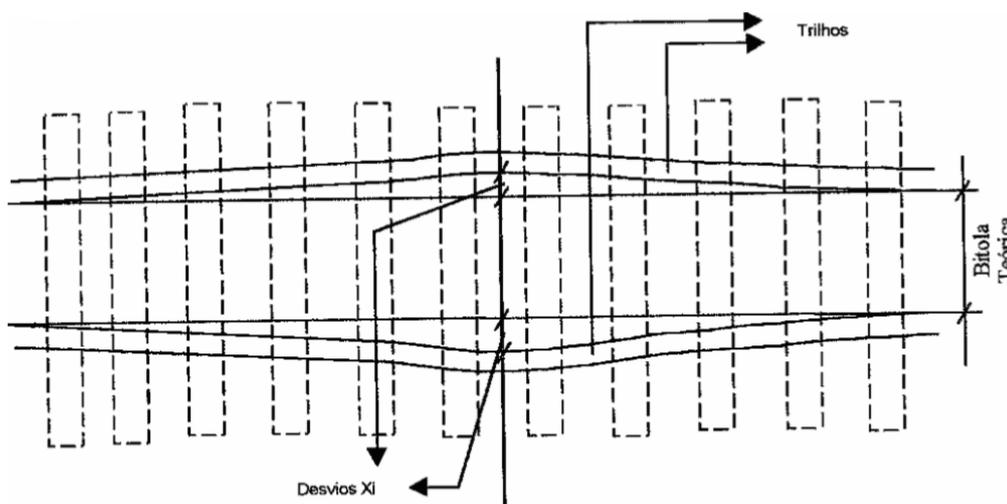


Figura 11 – Alargamento de Bitola

Fonte: LIMA, 1998.

De acordo com LIMA (1998), alguns fatores que podem ser responsáveis pelo defeito de alargamento de bitola são:

- Juntas quebradas ou com folga;
- Raio de curva muito estreito;
- Dormentes em condições ruins ou laqueados;
- Tirefonds frouxos ou orifícios desgastados;

- Lubrificação Inadequada;
- Desgaste da placa de apoio;
- Desgaste lateral do bolete do trilho;
- TKB (Tonelada Bruta Transportada) elevado;
- Qualidade do material empregado (fixação, dormente, trilhos).

4.2.2.1.2 Estreitamento de bitola

Quando a medida entre trilhos é inferior ao valor mínimo permitido, temos o alargamento de bitola da via (FIG. 11).

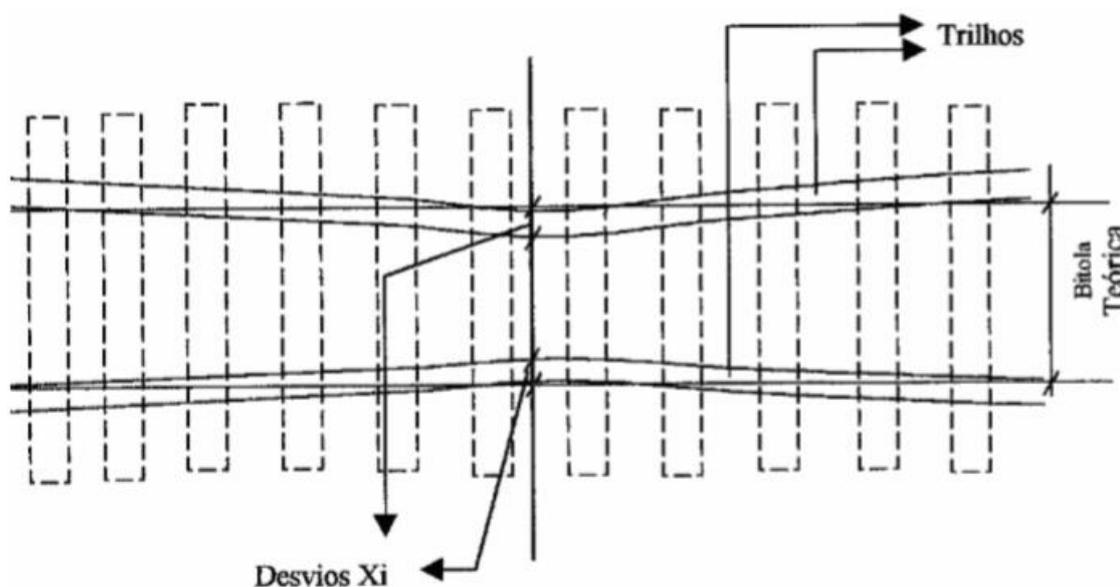


Figura 12 – Estreitamento de Bitola

Fonte: LIMA, 1998.

De acordo com LIMA (1998), os principais fatores que levam a ocorrência do estreitamento na bitola da via são as deformações no lado interno do trilho, placas de apoio quebradas e dormentes defeituosos.

4.2.2.2 Tangentes e curvas

São denominadas tangentes os segmentos de retas que unem duas curvas, tangenciando-as em projeção horizontal (SILVA, 2006).

As curvas têm grande responsabilidade nas restrições necessárias à circulação de trens, uma vez que suas características geométricas restringem alguns tipos de composições e limitam a velocidades de tráfego.

As curvas podem se subdividir-se em curva circular e curvas com segmentos de transição em espiral.

4.2.2.2.1 Curva circular

É qualificada por ter um único raio em toda sua extensão. De acordo com FCA (2009), os elementos de uma curva circular são:

- Desenvolvimento: extensão da curva representada pelo arco TC b CT;
- Tangentes da curva: segmentos a-TC e CT-c;
- Pontos notáveis de entrada e saída de curva: “TC” (tangente circular) e “CT” (circular tangente);

4.2.2.2.2 Curvas com segmentos de transição em espiral

As curvas de transição são formas geométricas que permitem uma transição entre a tangente e o ponto de ligamento com o valor específico do raio da curva circular.

No plano vertical possibilita que a superelevação varie constantemente desde o ponto de início da curva de transição até o valor determinado em projeto no início da curva circular, mantendo-se constante até a próxima curva de transição de saída, onde a partir daí, volta uniformemente até o ponto zero em que se inicia a nova tangente, como mostra a FIG. 13.

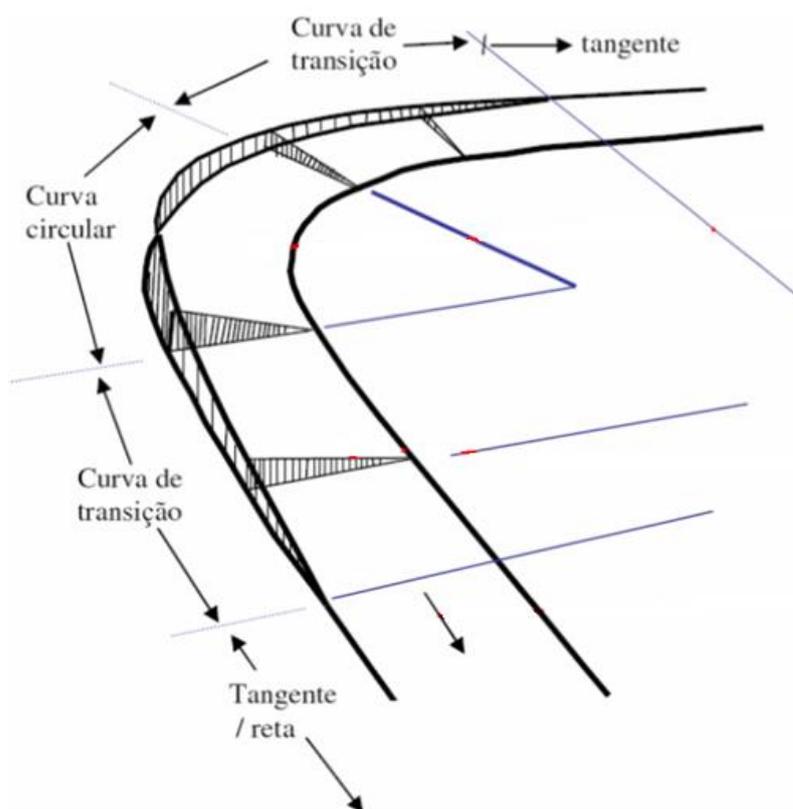


Figura 14 – Curva com Segmentos de Transição em Espiral

Fonte: SILVA, 2006

4.2.2.3 Superelevação

Superelevação é o acréscimo na altura do trilho externo, para compensar a ação da força centrífuga em curvas.

A força centrífuga gerada provoca um forte atrito entre o trilho externo da curva e os frisos das rodas, podendo ocorrer um tombamento caso a força ultrapasse certo limite, e por esse motivo é feita a inclinação de um dos lados da via, buscando neutralizar o efeito desta força, que varia diretamente com a massa do veículo e com o quadrado de sua velocidade, mas varia inversamente com o raio da curva. Com isso a velocidade máxima de projeto é determinada considerando a curva de menor raio (BRINA, 1979).

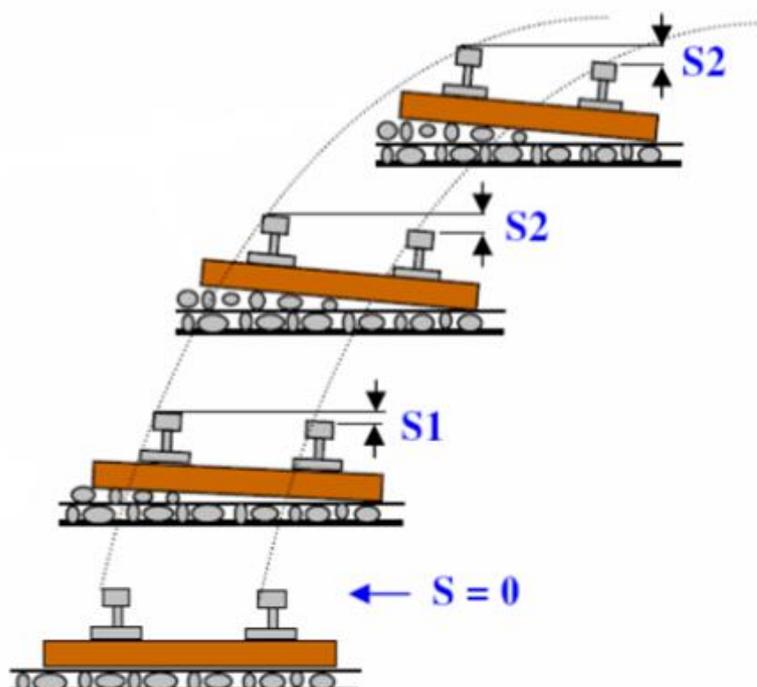


Figura 15 – Superelevação

Fonte: SILVA, 2006.

Principais funções da superelevação na via:

- Produzir uma melhor distribuição de cargas em ambos os trilhos;
- Reduzir os defeitos superficiais e desgastes dos trilhos e materiais rodantes;
- Compensar parcial ou totalmente o efeito da força centrífuga com redução de suas consequências;
- Proporcionar conforto aos passageiros.

Em termos práticos a superelevação em bitola métrica não deve exceder o valor de 100mm, dado ao risco de desequilíbrio dos vagões quando há a necessidade de sua parada.

Para o cálculo da superelevação teórica temos:

$$h = \frac{B * V^2}{127 * R}$$

Onde:

- h: Superelevação em milímetros;
- B: Bitola da via medida entre eixos do boleto do trilho em milímetros;
- V: Velocidade de projeto em km/h;
- R: Raio de curvatura em metros.

Na prática os trens não trafegam sempre na VMA (Velocidade máxima admissível), contudo é adotado um critério para que se tenha uma melhor conciliação entre os trens vazios, que trafegam a uma velocidade maior que os trens carregados, garantindo uma maior segurança contra o tombamento (FCA, 2009).

Neste caso usa-se o método de superelevação prática:

$$h = \frac{2}{3} * \frac{B * V^2}{127 * R}$$

4.2.2.4 Nivelamento da via

Parâmetro que define a altimetria da via, responsável pelo rolamento perfeito dos veículos ferroviários, e é analisado com base em dois aspectos: nivelamento longitudinal e nivelamento transversal.

4.2.2.4.1 Nivelamento longitudinal

Segundo FCA (2009), o nivelamento Longitudinal pode ser definido como a cota de topo do trilho no sentido longitudinal ao longo da via. Quando ocorre defeito no nivelamento longitudinal é identificado a existência de pontos altos e baixos com ocorrência simultânea ao longo do trecho.

Este defeito gera desconforto quando ultrapassa certos limites, podendo ocorrer o desengate dos vagões em casos extremos.

O principal fator que acelera o processo de degradação do parâmetro de nivelamento está associado ao excesso e mau acondicionamento de carga transportada pelos veículos ferroviários, o que causa sobre-esforços verticais no boleto do trilho. Existem outros fatores que podem ocasionar a perda de nivelamento:

- Trilhos corrugados;
- Bolsões de lama;

- Dormentes laqueados ou defeituosos;
- Juntas desniveladas.

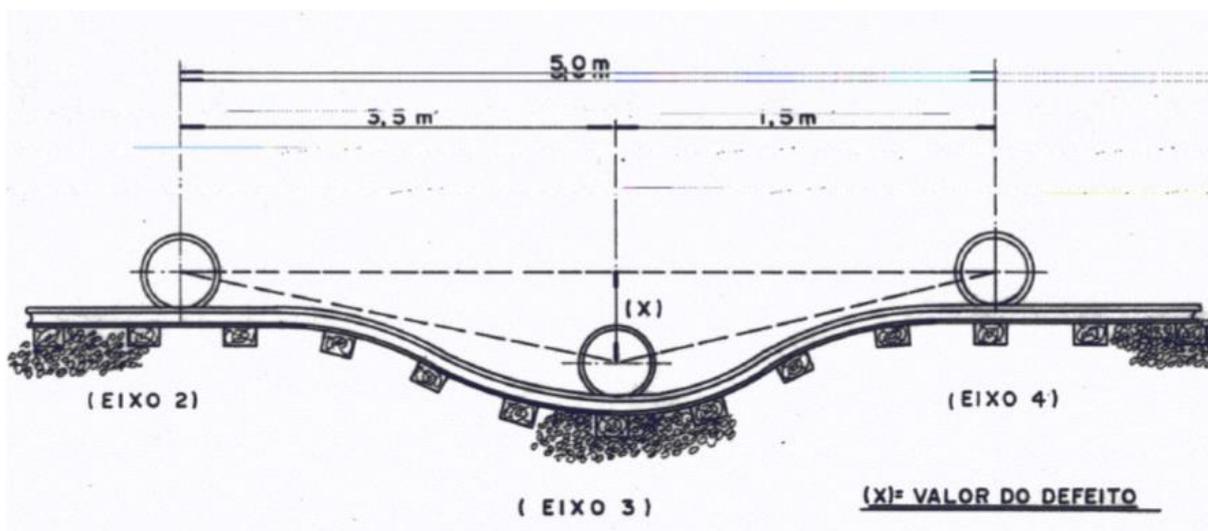


Figura 16 – Desnívelamento Longitudinal da via

Fonte: RODRIGUES, 2001.

4.2.2.4.2 Nivelamento transversal

Pode ser definido como nivelamento transversal a diferença de cota entre o topo de um trilho e outro em um determinado ponto da seção transversal.

Nas curvas há uma superelevação do trilho externo em relação ao trilho interno, afim de compensar a força centrífuga gerada, onde a composição tende a ser deslocado para o lado externo da curva. A superelevação de cada curva é projetada levando em consideração a velocidade com que os veículos trafegam no trecho em questão e o raio de curvatura (FCA, 2009).

4.2.2.5 Flecha e alinhamento da via

Alinhamento é o parâmetro que define a planimetria da via, qualquer alteração em relação ao eixo da via é considerado um desalinhamento, e é analisado de forma relativa e absoluta:

O desalinhamento é analisado de forma relativa e absoluta

- Alinhamento Longitudinal Absoluto: É analisado comparando os valores de suas abscissas de projeto e os valores reais levantados para cada trilho (direito e esquerdo).
- Alinhamento Longitudinal Relativo: Tem como referência a posição planimétrica de outros dois pontos de superfície do mesmo trecho.

O monitoramento deste parâmetro deve ser feito baseado na verificação da flecha em curvas comparadas ao raio de projeto (LIMA, 1998).

Com a verificação da flecha é possível avaliar a condição da curva em relação ao raio de projeto ou em função dos limites de variações admissíveis.

Os valores da flecha determinam o raio máximo da curva e assim determina quais tipos de veículos e em qual velocidade podem trafegar pela via.

Para realizar a verificação de alinhamento das curvas, as flechas são medidas a cada 6 metros, no ponto médio de uma corda com 10 metros de comprimento, que é posicionada com as extremidades no lado interno do trilho externo, a 16 mm da superfície de rolamento. O valor da flecha é medido entre o ponto médio da corda e o boleto do trilho.

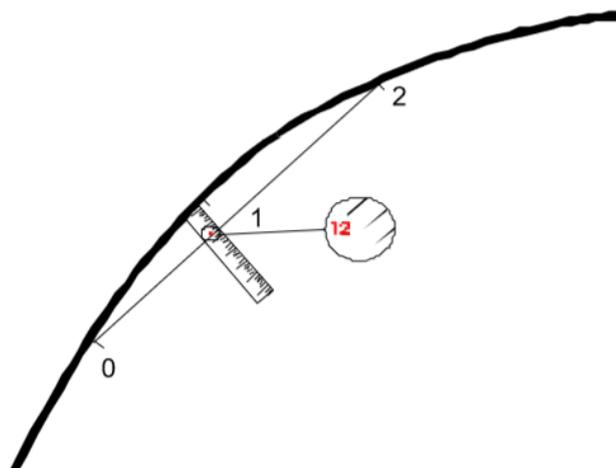


Figura 17 – Verificação de Flecha

Fonte: FCA, 2009.

As principais causas do desalinhamento da via, segundo LIMA (1998), são:

- Ombro de lastro insuficiente;
- Quebra ou deformação nos trilhos;
- Dormentes laqueados;
- Desgaste ou quebra de placas de apoio.

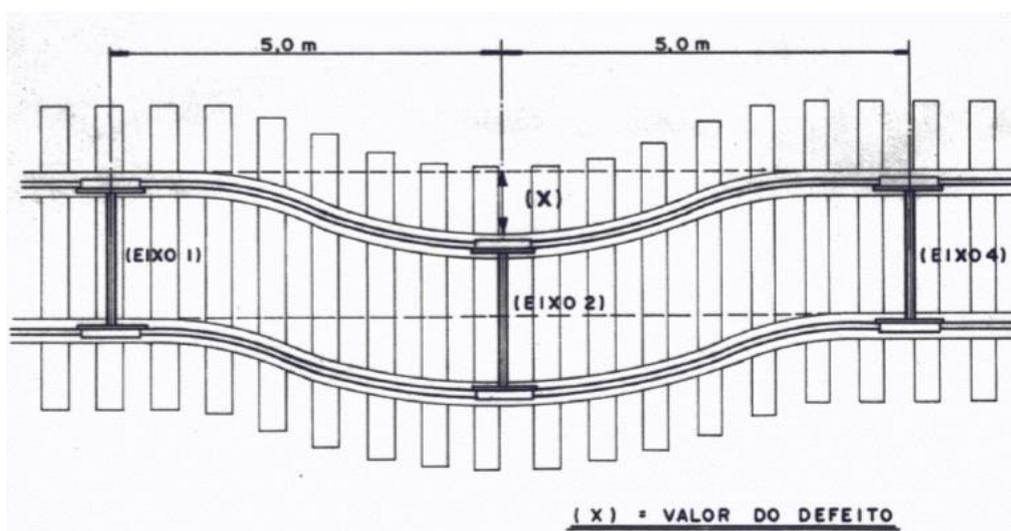


Figura 18 – Desalinhamento da Via

Fonte: RODRIGUES, 2001.

4.2.2.6 Empeno

É denominado empeno a variação do nivelamento transversal entre dois pontos de medição. Nas curvas de transição os empenos são dimensionados e devem se limitar aos valores limites máximos estabelecidos em projeto (FCA, 2009).

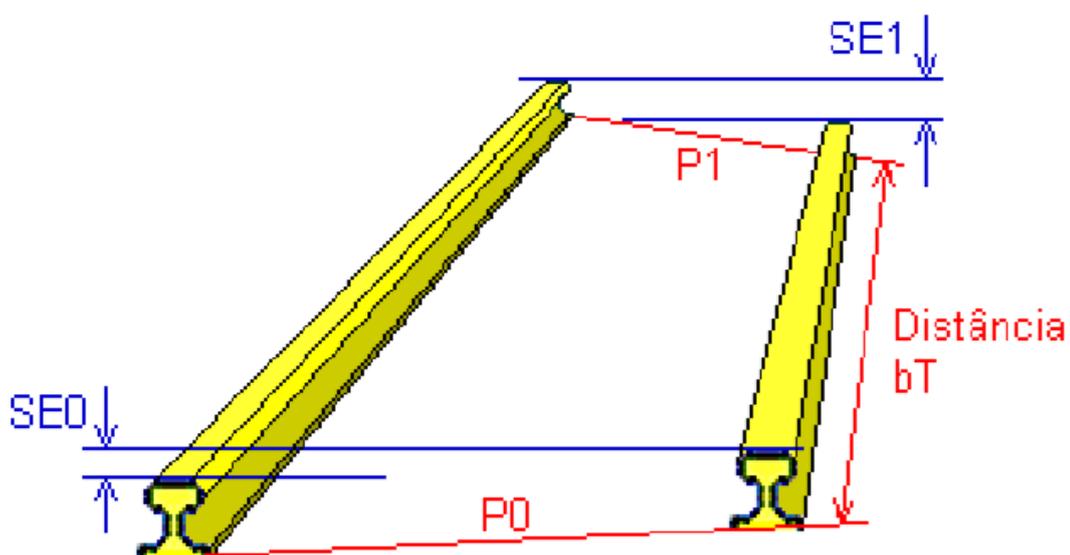


Figura 19 – Empeno

Fonte: FCA, 2009.

Para realizar a medição, um dos trilhos deve ser tomado como referência. Na FIG. 18, os desnivelamentos estão em direções opostas, portanto o empeno será dado por:

$$P1 = (SE1) - (-SE0)$$

4.2.2.7 Torção

Segundo FCA (2009) é o esforço produzido quando se tenta rotacionar a seção em relação ao próprio eixo longitudinal.

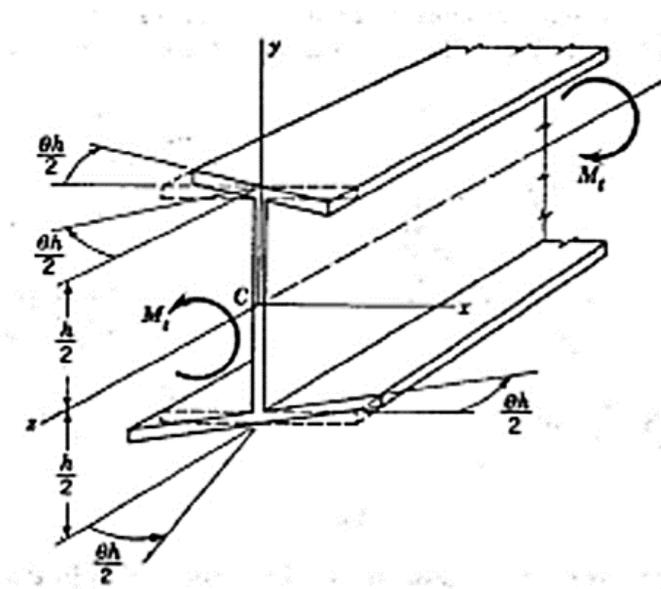


Figura 20 – Torção no Trilho

Fonte: FCA, 2009.

4.2.3 Definições de tolerâncias dos parâmetros de geometria da via

Toda variação na geometria da via passa a ser considerado como defeito quando ultrapassado os limites de tolerância definidos para a ferrovia.

Temos os seguintes níveis na classificação de tolerância das vias permanentes RODRIGUES (2001):

- Tolerância de Construção: Aplicada apenas a trechos novos, afim de checar a qualidade da construção e dos materiais empregados. Por se tratar de componentes novos, esse nível de tolerância é o mais exigente, e é também utilizado como parâmetros para o recebimento de obras de renovação e remodelação da via.
- Tolerância de Segurança: Definido para que não haja desvios, que podem gerar descarrilamentos e esforços além dos suportados pela resistência dos apoios e fixações da via. Esta tolerância define valores na qual o tráfego das composições se torne insegura e indicam a obrigação de serviços de correção geométrica urgente.
- Tolerância de Conforto: Valores que tragam bem-estar e conforto aos passageiros. Geralmente utilizado em ferrovias de transporte de passageiros e não se aplica as ferrovias de carga.
- Tolerância de Manutenção: Definido para minimizar o custo total de manutenção, com o intuito de determinar o momento ideal para a intervir na via permanente.

4.2.4 Abordagens da manutenção

A manutenção dos equipamentos e componentes da infraestrutura e superestrutura ferroviária têm como objetivo manter a disponibilidade das ferrovias, diminuindo as interdições e restrições de velocidade, e se relacionam com o tipo de abordagem realizada no sistema.

4.2.4.1 Manutenção corretiva

A manutenção Corretiva é um método de manutenção aplicada no qual se usa o máximo de uma estrutura até que ela precise de reparos súbitos. É um método mais simples e primitivo onde os serviços não são planejados e ocorrem de forma inesperada, levando aplicação irregular de recursos e paralisações inesperadas no tráfego, que levam à diminuição da produção e a segurança.

4.2.4.2 Manutenção preventiva

É o tipo de manutenção programada a intervalos fixos de tempo obtido através de análises estatísticas, independente do fato da condição do equipamento já ter ou não um valor crítico de desgaste, obtendo-se, com isto, uma significativa redução de custos sem comprometer a segurança do tráfego. KARDEC E NASCIF (2009) comentam que este modelo de manutenção representa o menor custo por indisponibilidade, porém se não bem dimensionado pode ocasionar o maior custo em peças e serviços. Por este motivo torna-se importante determinar o adequado momento de intervir antes da ocorrência da falha.

LIMA (1998) especifica os serviços preventivos de três formas:

a) Renovação e Substituição: Substituição total ou parcial dos componentes da superestrutura por novos (renovação) e reemprego de materiais com menos

desgaste no lugar de outros que já atingiram o limite de desgaste (substituição). Pode-se citar como exemplos de serviços ligados a esse tipo de intervenção:

- Substituição de dormentes;
- Limpeza e recomposição do lastro;
- Substituição dos trilhos gastos ou defeituosos;
- Inversão de trilhos.

b) Revisão: acontece de forma frequente, com o objetivo de não só remover os defeitos já existentes, mas também os que estão em formação. Os serviços relacionados à revisão periódica são:

- Puxamento de curvas;
- Nivelamento da Via;
- Nivelamento de Juntas;
- Alinhamento de tangentes;
- Socaria Mecanizada

c) Pequena Conservação: consiste em pequenas intervenções com o objetivo de impedir que as condições da via afetem a segurança, como:

- Reforço da fixação;
- Correção de bitola;
- Socaria Manual;
- Eliminação de fraturas em trilhos;
- Serviços de “Ronda” (colaborador responsável pela inspeção da Via e execução de pequenos reparos manuais).

4.2.4.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas por meio de inspeção dos componentes, com base na aplicação de técnicas de análise, propriedades que dão a proximidade do momento da falha, determinando um tempo mais preciso para a execução de uma intervenção, minimizando trabalhos desnecessários e reduzindo despesas. (KARDEC E NASCIF, 2009). A atuação antecipada, como sugere a prática preventiva baseada na manutenção programada a intervalos fixos de tempo, implica numa possível subutilização dos componentes, visto que o mesmo poderia ser utilizado por mais tempo já que sua substituição poderia se dar mais próximo do fim de sua vida útil. Por outro lado, uma atuação tardia pode afetar a segurança operacional com o aumento das chances de casos de acidente e risco de aparecimento de falhas, incluindo a necessidade de intervenção corretiva, o que também aumenta os custos da manutenção.

4.2.5 Sistemas de inspeções geométricas ferroviários

SILVA (2002) ressalta que os parâmetros seguintes devem ser administrados para garantir que as tolerâncias não sejam excedidas, evitando complicações na linha ferroviária.

- Nivelamento longitudinal;

- Alinhamento;
- Desgaste de trilho;
- Uniformidade de rigidez da via;
- Resiliência da via;
- Estabilidade da via.

Para realizar as medições e ter o conhecimento dos valores de cada um desses parâmetros são usadas algumas ferramentas que são capazes de monitorar os dados de forma ágil e precisa.

Existem ferramentas que possibilitam a medição desses parâmetros de forma manual, são elas: visores óticos para nivelamento topográfico do boleto dos trilhos e respectivas réguas, aparato para medição de flechas e odômetro manual, medidores de bitola, aparato para verificação de quadramento de dormentes e medidores de gabarito de via.

Alguns ainda são usados de forma mais frequente, como o aparato para verificação de quadramento de dormentes, medidores de bitola e o medidor de gabarito da via, porem os demais estão caindo em desuso, pois se tornam economicamente inviável no emprego em longas distância (SILVA, 2002).

4.2.5.1 Carro controle

O carro controle é uma ferramenta de inspeção que consiste em um veículo rodoferroviário capaz de trafegar em vias rodoviárias e ferroviárias, equipado com ferramentas para análise da via permanente.

Com velocidade de inspeção de até 50km/h, o carro controle se locomove sobre os trilhos e é capaz de coletar dados sobre as condições da via em tempo real.

SILVA (2002), explana que o carro controle trata-se de um método de avaliação direta da via, pois é um recurso que registra e armazena os dados da geometria e são obtidos automaticamente através de leitura a laser e câmeras de vídeos de alta definição e velocidade para a captura das imagens. O trilho é iluminado por feixes de raio laser e são processadas sessenta imagens por segundos, além de contar com sensores de posição de alta precisão, acelerômetros e giroscópios, que são processados e armazenados por sistema computacional embarcado.

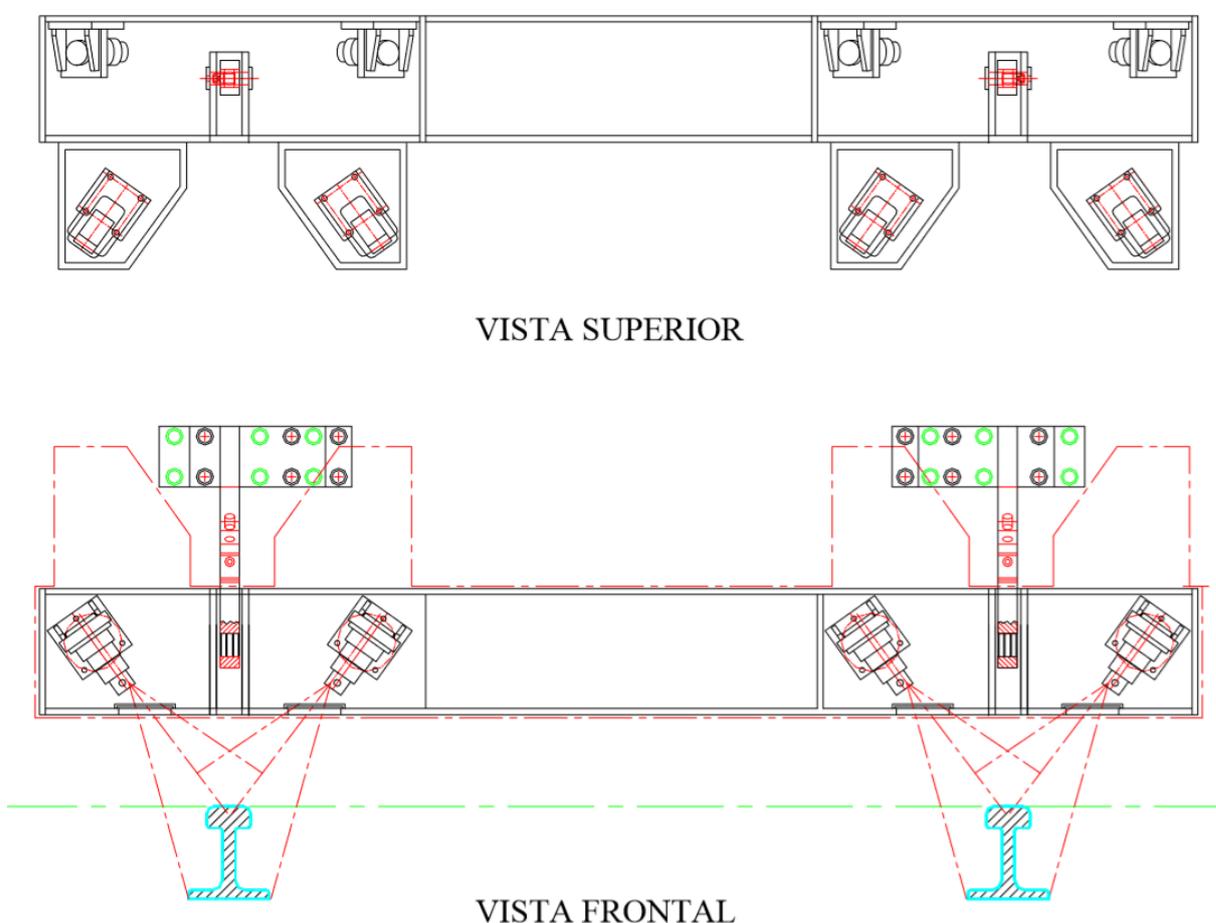


Figura 21 – Disposição das câmeras e emissores de laser do sistema de aquisição de dados TEV

Fonte: SILVA, 2002.

O carro controle também é capaz de realizar ensaios que simulam a carga de uma composição, aplicando cargas horizontais e verticais nos trilhos. Por meio de seus artefatos, esta ferramenta é capaz de ler e comparar os mais importantes parâmetros da geometria da via, sendo:

- Variação de Bitola;
- Superelevação ou nivelamento transversal;
- Alinhamento longitudinal;
- Nivelamento longitudinal;
- Empeno;
- Torção;
- Raio de curva.

4.2.5.2 Trolley de geometria de via

Sistema que realiza a medição de geometria da via descarregada e mede o perfil longitudinal de cada trilho e a posição relativa entre eles. Caracterizado por ser de pequeno porte e leve, feito de chassi metálico, possui quatro rodas adequadas para o tráfego em trilhos, dois eixos com menos de 1 metro de comprimento e basta um operador para que seja rebocado manualmente (SILVA, 2002).

Segundo SILVA (2002), a medição é realizada quando o equipamento é colocado sob os trilhos e rebocado pelo operador. Dotado por um par de inclinômetros que coletam parâmetros longitudinais e transversais, possui também sensores a base de raio x ou ultra-som, que coletam os dados de onde o trolley trafegou e alimenta um

microcomputador embutido, sendo capaz de exportar os valores da leitura para planilhas.



Figura 22 – Trolley de geometria de via

Fonte: BRASTAN, 2019.

Esta ferramenta de medição geométrica é capaz de coletar os seguintes parâmetros da via:

- Superelevação;
- Torção;
- Empeno;
- Variação de Bitola.

4.2.6 Parâmetros fundamentais para supervisão da via permanente

SILVA (2002), define que é possível estabelecer índices de qualidade baseado na geometria da via, que são compreendidos pela análise de:

- Empeno;
- Bitola;
- Nivelamento;
- Alinhamento.

Destaca-se que as alterações no nivelamento longitudinal são correlacionadas entre a carga das composições que trafegam pela ferrovia, e a degradação no parâmetro empeno possui relação com o volume de tráfego do trecho (SILVA, 2002).

4.3 MATERIAS E MÉTODOS

O presente trabalho estrutura-se na revisão bibliográfica descritiva e busca relacionar variáveis que atendam os objetivos da análise do programa de coleta de dados da linha férrea de Patrocínio, para isso é estudado quais parâmetros de geometria da via são mais importantes e mais comuns para a manutenção da superestrutura ferroviária.

Primeiramente é identificado qual o método de análise da via utilizado pela concessionária da ferrovia de Patrocínio, assim conhecemos como os dados são coletados e quais informações podem ser obtidas através da leitura do equipamento utilizado, se são suficientes para comparar os dados obtidos com valores de projetos, assim como limites mínimos e máximos de variação de geometria, garantindo a segurança e uma eficiente manutenção do trecho.

Após a identificação do método de análise usado, será feita a análise das tabelas geradas pelo carro controle que faz a leitura da superestrutura ferroviária, identificando os parâmetros mais relevantes coletados, e quais são mais utilizados para identificação de patologias ou incoerência na via. É verificado se há avisos ou alertas para fácil visualização dos operadores ou funcionários de manutenção quando se há parâmetros fora dos limites estabelecidos e que necessitam de atenção ou manutenção.

Por meio das Tabelas geradas pelo carro controle podemos comparar com referências literárias descritas neste trabalho, se os parâmetros de geometria coletados são suficiente para que a empresa tenha um controle e planejamento de como é a evolução do desgaste da via, podendo assim realizar planos de manutenção cada vez mais eficientes, menos onerosos, sem prejudicar a logística do transporte, mantendo assim a confiabilidade do linha férrea.

4.4 COLETA DE DADOS

Em Patrocínio a coleta de dados referentes à geometria da via e ao desgaste dos trilhos é realizada pelo carro controle (citado no item 4.2.5.1) batizado de NomadTan, com velocidade de inspeção de até 50km/h. Esta ferramenta de análise da via faz a coleta de dados com uma frequência média de 3 vezes por ano.

A frequência com que esta ferramenta é utilizada está diretamente ligada a solicitação de uso da ferrovia e as suas características, portanto se o trecho for mais crítico, possuindo maiores curvaturas, maiores elevações, fluxo mais intenso de composições e maiores cargas, a tendência é um uso mais frequente do carro controle.



Figura 23 – Carro Controle NomadTan

Fonte: BRASTAN, 2019.

4.4.1 Inspeção via permanente

A inspeção é realizada sobre os trilhos pelo carro controle, no quais os equipamentos nele instalado geram os dados instantaneamente no seu interior, onde são feitas análises preliminares e são apresentadas possíveis irregularidades da via. Também de forma automática, são gerados relatórios abrangendo informações denominadas exceções, que mostram os pontos no qual os limites mínimos e máximos de tolerância são extrapolados por determinados parâmetros.

É muito importante que ao decorrer da inspeção, os responsáveis pela condução e operação do carro controle, sejam acompanhados pelo coordenador / supervisor de manutenção do trecho em questão, para que as análises preliminares possam agregar o conhecimento técnico dos operadores com a experiência de realização de manutenção dos especialistas daquele determinado trecho.

É possível visualizar os relatórios de exceções gerados através das telas presentes no interior do carro controle, assim como os gráficos, perfil dos trilhos em comparação ao modelo de projeto, intensidade das forças de simulação sobre os trilhos, e o mapa do trecho que está sendo percorrido.

Essas informações são armazenadas na forma de dados e podem ser executadas e analisadas posteriormente, através dos softwares de análise e simulação que executam os dados coletados durante a inspeção.

Os softwares de execução dos dados coletados são específicos para o processo de visualização dos relatórios e gráficos devido as particularidades das informações geradas no processo.

4.4.2 Caso prático

Neste capítulo será analisado a planilha de relatórios gerada a partir do método de inspeção do carro controle, na via permanente de Patrocínio, Minas Gerais.

Ao percorrer o trecho estabelecido, o carro controle faz a leitura e coleta os dados da via. Ao término da inspeção é possível analisar as condições da via permanente através da planilha gerada pelo software, e realizar a comparação com parâmetros de projeto.

A TAB. 03 apresenta quais informações são exportadas do carro controle para a planilha quando a inspeção é finalizada. Para fins de compreensão da tabela, os valores são genéricos, não condizendo com a real leitura do carro controle, uma vez que a análise deste trabalho se baseia em quais dados que são coletados.

A TAB. 03 é constituída pelos seguintes dados:

- Posição (Km);
- Latitude;
- Longitude;
- Grau de curvatura (graus/100ft);
- Raio de curva (m);
- Superelevação em via (mm);
- Superelevação calculada a partir da VMA (mm);
- Torção curta (mm);

- Torção longa (mm);
- Empeno curto (mm);
- Empeno longo (mm);
- Bitola medida (mm);
- Flecha 10m (mm);
- Flecha 20m (mm);
- Velocidade;
- Velocidade de projeto (Km/h).

Tabela 3 – Dados do Relatório do Carro Controle

Posição (KM)	Latitude	Longitude	Grau de Curvatura (graus/100ft)	Raio da curva (m)	Superelevação em via (mm)	Superelevação calculada a partir da VMA (mm)	Torção Curta (mm)	Torção Longa (mm)
915,995	-18.887.949	-47.108.886	-0.002128	469	-14	24	2	3
915,995	-18.887.950	-47.108.883	-0.0021	476	-14	23	1	3
915,994	-18.887.950	-47.108.880	-0.00207	483	-14	23	1	3
915,994	-18.887.956	-47.108.879	-0.002039	490	-13	23	2	4
915,994	-18.887.956	-47.108.876	-0.002017	495	-13	22	1	4
915,993	-18.887.957	-47.108.873	-0.002004	499	-13	22	1	5
915,993	-18.887.957	-47.108.876	-0.001995	501	-13	22	1	5
915,993	-18.887.963	-47.108.870	-0.001989	502	-13	22	1	5
915,992	-18.887.964	-47.108.867	-0.001984	504	-14	22	1	5
915,992	-18.887.964	-47.108.869	-0.001975	506	-14	22	1	5
915,991	-18.887.970	-47.108.860	-0.001959	510	-13	22	0	7
915,991	-18.887.971	-47.108.857	-0.001955	511	-13	22	0	7
915,991	-18.887.971	-47.108.861	-0.001958	510	-13	22	1	7
915,990	-18.887.977	-47.108.854	-0.00196	510	-13	22	1	7

Continua

Continuação

Empeno Curto (mm)	Empeno Longo (mm)	Bitola medida (mm) + 1000mm	Varição de bitola 5m (mm)	Flecha 10m (mm)	Flecha 20m (mm)	Velocidade	Velocidade de projeto (km/h)
2	4	2	4	26	106	40	45
2	4	2	5	26	105	40	45
1	4	2	5	25	103	40	45
2	4	1	4	25	101	40	45
2	4	1	4	25	100	40	45
1	4	0	3	25	100	40	45
1	4	-1	1	24	99	39	45
1	4	-2	0	24	99	39	45
0	3	-2	1	24	99	39	45
1	3	-3	2	24	98	39	45
0	5	-3	3	24	97	39	45
0	5	-3	3	24	97	39	45
0	5	-5	7	24	97	39	45
0	6	-5	7	24	98	39	45

Fonte: Concessionária Ferroviária de Patrocínio (adaptado).

Analisando a TAB. 03, é verificado que temos informações sobre o posicionamento do trecho em que a leitura foi realizada, assim como as informações de geometria da via nestas determinadas posições.

Nas colunas da TAB. 03 encontramos as seguintes informações:

- Posição (km): Posição de medição no trecho, em km. Em média, a cada 25 cm o carro controle realiza uma leitura.
- Latitude: Coordenada geográfica obtida por GPS, tendo como referência a linha do equador variando para norte e sul.
- Longitude: Coordenada geográfica obtida por GPS, tendo como referência o Meridiano de Greenwich no sentido leste a oeste.
- Grau de curvatura: É o ângulo central de uma determinada curva, como citado no item 4.2.2.2.1.
- Raios da curva (m): Raio da curva, medido em metros.
- Superelevação em via (mm): Diferença de superelevação na via, tendo como referência o trilo paralelo.
- Superelevação calculada a partir da VMA (mm): Parâmetro que informa qual seria a superelevação ideal daquele trecho, calculado pelo próprio sistema do carro controle, levando em consideração a VMA, raio de curvatura e classe da via.
- Torção curta (mm): Parâmetro geométrico da via que consiste no esforço que é produzido quando se tenta rotacionar a seção do trilho em relação ao próprio eixo longitudinal, como citado no item 4.2.2.7. Nesta coluna, torção curta significa que a leitura é feita de 2 em 2 metros, e valores são exibidos em milímetros.
- Torção longa (mm): Neste parâmetro a torção é aferida em intervalos de 12 metros e valores são exibidos em milímetros. Parâmetro curto e longo existem para ampliar a margem de precisão da leitura.

- Empeno curto (mm): Parâmetro geométrico da via que consiste na variação do nivelamento transversal entre dois pontos de medição dos trilhos, como citado no item 4.2.2.6. Neste parâmetro o empeno é aferido de 2 em 2 metros e valores são exibidos em milímetros.
- Empeno longo (mm): Neste parâmetro o empeno é examinado em intervalos de 12 metros e valores são exibidos em milímetros.
- Bitola medida (mm): Distância entre a parte interna do boleto dos trilhos, como citado no item 4.2.2.1. O valor dado pela tabela indica a variação na medida da bitola, no caso o trecho estudado possui bitola métrica (distância entre trilhos de 1 metro).
- Variação de bitola 5m (mm): Variação da medida interna dos trilhos a cada 5 metros, usando milímetros como a unidade de medida.
- Flecha 10m (mm): Parâmetro geométrico onde é verificado o valor da flecha, como citado no item 4.2.2.5, em intervalos de 10 metros. Valores são apresentados em milímetros.
- Flecha 20m (mm): Idêntico ao item anterior, porém a verificação é realizada em intervalos de 20 metros.
- Velocidade: Velocidade medida em km/h em que o carro controle estava trafegando no momento da leitura dos dados.
- Velocidade de projeto (km/h): Velocidade de tráfego na qual o trecho analisado foi projetado. Valores são apresentados em km/h.

Além da TAB. 03 que compreende a leitura completa do trecho, o carro controle gera uma segunda planilha com as mesmas informações, porém com os locais que apresentam condições geométricas mais críticas, que extrapolam os limites de projeto. Deste modo os operadores podem ter uma fácil visualização dos parâmetros que estão alterados, assim como o local exato de ocorrência.

O carro controle pode ser programado para gerar relatórios de prioridades de manutenção em relação a parâmetros que excedam valores pré-definidos, são eles:

- Interdição ou P0: Manutenção corretiva que precisa ser realizada com urgência, apresenta valores geométricos acima dos limites de projeto.
- Prioridade 1 ou P1: Manutenção corretiva com menor grau de urgência que a P0, e o prazo limite para o reparo fica a cargo de cada sistema de gestão, podendo variar de 2 a 7 dias.
- Prioridade 2 ou P2: Manutenção que possui menor urgência em relação a P1, deve ser executada em até 14 dias após a leitura do carro controle.
- Prioridade 3 ou P3: Deve ser executada em até 30 dias.

Os valores máximos e mínimos dos itens citados acima são informados pela concessionária que administra a ferrovia em Patrocínio, assim ela pode optar por quais trechos devem obedecer a valores mais rigorosos.

Pode-se dizer que P0 se classifica como manutenção corretiva, o que não é visto como o cenário ideal na manutenção, pois alguma propriedade geométrica se encontra fora dos limites da via, podendo causar algum tipo de acidente. Já as prioridades P1, P2 e P3 são classificadas como uma manutenção preventiva em graus de urgência crescente. É importante realizar os reparos nestes locais para que não evoluam para P0 e passem a ser tratadas como manutenção corretiva.

4.4.2.1 Análise de quais parâmetros geométricos são coletados

A análise dos parâmetros geométricos é fundamental para a manutenção da via permanente, pois quando se tem o conhecimento de qual propriedade geométrica apresenta limites excedidos, pode-se programar o reparo usando as técnicas adequadas para a correção do problema, visando maximizar a vida útil e confiabilidade da via permanente.

Serão analisados os parâmetros que são gerados pelo carro controle, considerando que a via permanente de Patrocínio conta com bitola métrica, definida por ter distância interna entre trilhos igual a 1 metro, o perfil de trilho predominantemente na linha é o TR-57, como explicado no item 4.2.1.3. Em função de velocidade de projeto, a malha ferroviária está situada na classe 3, com velocidades de até 64km/h, como mostrado na TAB. 04:

Tabela 4 – Classes de Vias

Classe da via	Velocidade máxima para carga (km/h)	Velocidade máxima para passageiro (km/h)
Classe 1	16	24
Classe 2	40	48
Classe 3	64	96
Classe 4	96	128
Classe 5	128	144

Fonte: FCA, 2009.

4.4.2.1.1 Bitola

Os parâmetros mínimos e máximos para o valor de bitola são apresentados na TAB. 05:

Tabela 5 – Tolerâncias de bitola

Valor nominal (mm)	Valor máximo (mm)	Valor mínimo (mm)
1000	1025	995
1600	1625	1595

Fonte: FCA, 2009.

Analisando a TAB. 05 concluímos que a tolerância máxima de bitola pode variar até 25mm a mais do que a bitola padrão, porem a tolerância de medida mínima não pode ultrapassar 5mm.

A tolerância mínima tem menor variação pois quando a bitola fecha além do limite citado, os trilhos se aproximam dos frisos das rodas das composições, podendo causar o risco do truque sair da via resultando em descarrilamento.

Este parâmetro se encontra na planilha de leitura do carro controle, apresentado como a bitola medida (coluna 12) e variação de bitola 5m (coluna 13).

4.4.2.1.2 Empeno em curvas

O empeno em curvas é avaliado comparando a variação do nivelamento transversal entre pontos adjacentes.

Para cálculo de empeno máximo admissível em curvas será considerado a velocidade máxima estabelecida para o trecho e os valores de distância entre truques ($D=1,727m$) e altura do centro de gravidade ($1,876m$) correspondente ao vagão mais crítico, que no caso é do tipo HFE (Hopper Fechado) por ter centro de gravidade mais alto e maior capacidade de carga. Portanto:

$$E = \frac{298}{h * V} * D$$

Onde:

- E: Empeno em milímetros;
- h: Altura do centro de gravidade do vagão em metros;
- V: Velocidade da composição em km/h;
- D: Distância entre seções de medição em metros.

Porem na prática o valor limite considerado é igual a 80% do valor máximo calculado para o vagão mais crítico, portanto o empeno máximo em curvas é demonstrado na TAB 06.

Tabela 6 – Empeno Máximo para Curvas

Velocidade (km/h)	Valor calculado a partir do vagão HFE (mais crítico)	Limite de tolerância admissível considerando vagão mais crítico
15	18	15
20	14	11
25	11	9
30	9	7
35	8	6
40	7	5
45	6	5
50	5	4
55	5	4
60	5	4
65	4	3
70	4	3

Fonte: FCA, 2009.

4.4.2.1.3 Empeno em tangentes

Seguindo o mesmo critério de empeno em curvas, item 4.2.1.2, para calcular o empeno máximo admissível em tangentes também é considerado os dados do vagão mais crítico (HFE – Hooper Fechado) e velocidade máxima do trecho. Portanto:

$$E = \frac{700}{h * V} * D$$

Onde:

- E: Empeno em milímetros;
- h: Altura do centro de gravidade do vagão em metros;
- V: Velocidade da composição em km/h;
- D: Distância entre seções de medição em metros.

Considerando 80% em relação ao valor máximo calculado, temos os limites como mostrado na TAB. 07.

Tabela 7 – Empeno Máximo para Tangentes

Velocidade (km/h)	Valor calculado a partir do vagão HFE (mais crítico)	Limite de tolerância admissível considerando vagão mais crítico
15	43	34
20	32	26
25	26	21
30	21	17
35	18	15
40	16	13
45	14	11
50	13	10
55	12	9
60	11	9
65	10	8
70	9	7

Fonte: FCA, 2009.

4.4.2.1.4 Superelevação

Para cálculo da superelevação é adotado o critério de superelevação prática, citada no item 4.2.2.3, onde:

$$h = \frac{2}{3} * \frac{B * V^2}{127 * R}$$

Sendo:

- h: Superelevação em milímetros;
- B: Bitola da via medida entre eixos do boleto do trilho em milímetros;
- V: Velocidade de projeto em km/h;
- R: Raio de curvatura em metros.

O valor mínimo de superelevação adotado é de 5mm, mesmo em curvas com raios de curvatura grande, afim de evitar a inversão da superelevação.

Como valor mínimo é considerado a bitola do trecho, não podendo ultrapassar 100mm se o via permanente utilizar a bitola métrica, como explicado no item 4.2.2.3.

4.4.2.1.5 Alinhamento e flecha

Os limites de variação de flecha são obtidos da seguinte formula, considerando pontos consecutivos de medição com intervalos de 2,5m e velocidade máxima do trecho:

$$f \leq \frac{c}{16} * \left(\frac{V^2}{850} - \frac{V}{2} + 57 \right)$$

Onde:

- f: Variação de flecha admissível entre dois pontos consecutivos em milímetros;

- c: Comprimento da corda em metros;
- V: Velocidade do trem em km/h.

O valor limite considerado é igual a 80% do valor máximo calculado, como mostrado nas TAB. 08 e TAB. 09:

Tabela 8 – Variação Máxima de Flecha com Corda de 10m

Velocidade (km/h)	Variação de flecha	Limite de tolerância admissível
45	23	18
50	22	17
55	21	17
60	20	16
65	18	15
70	17	14
75	16	13
80	15	12

Fonte: FCA, 2009.

Tabela 9 – Variação Máxima de Flecha com Corda de 12m

Velocidade (km/h)	Variação de flecha	Limite de tolerância admissível
15	37	30
20	36	28
25	34	27
30	32	26
35	31	25
40	29	23
45	28	22
50	26	21
55	25	20
60	24	19
65	22	18
70	21	17
75	20	16
80	18	15

Fonte: FCA, 2009.

4.4.2.2 Parâmetros adotados nas inspeções do carro controle.

Para configurar os relatórios de exceções gerados pelo carro controle são pré-definidos os limites máximos e mínimos para os dados geométricos citados anteriormente. Esses limites são estabelecidos pela AAR (*Association of American Railroads*) para cada classe de via, como mostrado na TAB. 10:

Tabela 10 – Defeitos máximos para cada classe de linha de acordo com a AAR

Parâmetros	Classe da linha											
	1		2		3		4		5		6	
Bitola	+5	-5	+10	-5	+15	-5	+20	-5	+25	-5	+30	-5
Superelevação	±4		±7		±10		±12		±14		±14	
Alinhamento	±4		±6		±8		±10		±12		±12	
Empeno	±2.8		±5.6		±7.7		±9.1		±11.7		±12	
Nivelamento	±1.5		±1.5		±3		±4.5		±6		±8	

Fonte: FCA, 2009.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de coleta de dados realizada pelo carro controle compreende os aspectos mais importantes no que se diz a geometria da via, indicando o valor do defeito apresentado e gerando planilhas de parâmetros que excederam os valores limites. A partir disto, um software de sistema de monitoramento de via é alimentado com estes dados, sendo possível comparar e acompanhar a evolução dos defeitos e desgastes da via de forma mais rápida e objetiva comparando leituras anteriores, sendo possível planejar manutenções em trechos localizados, evitando a prática de manutenções corretivas, o que é indesejado.

Além do mecanismo citado acima, a concessionária conta com outros meios para a inspeção de geometria da linha ferroviária, sendo um deles o Trolley de linha, um aparelho preditivo semi mecanizado, capaz de coletar dados de desnivelamentos, bitola, torção e empeno da linha, porém é feito de forma mais lenta que o carro controle, uma vez que o operador precisa reboca-lo manualmente, tornando inviável a leitura com esse equipamento a longas distâncias. A utilização desta ferramenta de coleta de dados é mais frequente que o carro controle, podendo ser realizada em ciclos de 2 dias ou conforme necessidade de cada trecho.

A manutenção ferroviária é elemento fundamental para o correto funcionamento e eficiência da linha e um dos principais fatores para que o lucro cessante seja evitado.

Levando em consideração esses fatores, pode-se considerar que a concessionária da ferrovia de Patrocínio apresenta ferramentas e métodos que possibilitam a leitura e controle dos principais parâmetros geométricos da via, possibilitando mapear os pontos mais críticos e conduzindo as prioridades de manutenção, de modo provocando o mínimo de impacto no tráfego ferroviário, tornando o transporte a mais produtivo e conseqüentemente mais eficiente.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACESSÓRIOS Ferroviários. Timbó – SC. Disponível em: <http://www.metisa.com.br/index.php?idioma=1&categoria=38&field=2>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASTAN: **Inspeção Por Geometria**. Casa Verde - SP, 2019. Disponível em: <https://www.brastan.com.br/services/inspecao-geometria/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

BRASTAN: **Inspeção Por Geometria**. Casa Verde - SP, 2019. Disponível em: <https://www.brastan.com.br/produto/trolley-de-geometria-de-via/>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BRINA, H. L. **Estradas de Ferro 1 – Via Permanente**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2 ed, 1979.

FCA. **Manual Técnico da Via Permanente**. [S. l.: s. n.], 2009. E-book 363 p.

FERNANDES, G. **Comportamento de estruturas de pavimentos ferroviários com utilização de solos finos e/ou resíduos de mineração de ferro associados a geossintéticos**. 2005. 253 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

LIMA, H. A. D. **Procedimento para seleção de método de manutenção para a superestrutura ferroviária**. 1998. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 1998.

MACÊDO, F. B. **Estudo dos desgastes de trilhos ferroviários**. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2009. Disponível em < <http://www.ufjf.br/ep/trabalhos/tccs-2009-1/>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

MAGALHÃES, P. C. B. **Programa de capacitação em geometria de linha: Ênfase em segurança e comodidade**. Juiz de Fora: MRS Logística S.A., 2007.

MAIA, Víctor. **Superestrutura Ferroviária**. [S. l.], 20 dez. 2018. Disponível em: <<https://maquinadeaprovacao.com.br/engenharia/superestrutura-ferroviaria/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

PORTO, T. G. PTR 2501 – **FERROVIAS**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, 2004.

RODRIGUES, C. A. **Contribuição ao Planejamento da Manutenção Preditiva da Superestrutura Ferroviária**. 2001. 260 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2001.

SILVA, E. T. S. **Análise da evolução dos defeitos da via permanente da MRS para planejamento de intervenções preditivas de manutenção**. Monografia apresentada ao curso de especialização em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://transportes.ime.eb.br/via_perman.html>. Acesso em 10 mar. 2019.

SILVA, L. F. M. **Fundamentos Teórico-Experimentais Da Mecânica Dos Pavimentos Ferroviários E Esboço De Um Sistema De Gerência Aplicado À Manutenção Da Via Permanente**. 2002. 333 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SPADA, J. L. G. **UMA ABORDAGEM DE MECÂNICA DOS PAVIMENTOS APLICADA AO ENTENDIMENTO DO MECANISMO DE COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DA VIA FÉRREA**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

5 CONCLUSÃO

De acordo com a revisão bibliográfica, o sistema de análise da via permanente através do carro controle adotado pela ferrovia FCA/VLi em Patrocínio atende os parâmetros essenciais para a realização de uma manutenção preditiva, são eles: empeno, bitola, alinhamento e nivelamento, conforme cita SILVA, 2002, o que viabiliza a certeza que o programa de manutenção ferroviária é excelente nos quesitos adotados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACESSÓRIOS Ferroviários. Timbó – SC. Disponível em: <http://www.metisa.com.br/index.php?idioma=1&categoria=38&field=2>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASTAN: **Inspeção Por Geometria**. Casa Verde - SP, 2019. Disponível em: <https://www.brastan.com.br/services/inspecao-geometria/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

BRASTAN: **Inspeção Por Geometria**. Casa Verde - SP, 2019. Disponível em: <https://www.brastan.com.br/produto/trolley-de-geometria-de-via/>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BRINA, H. L. **Estradas de Ferro 1 – Via Permanente**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2 ed, 1979.

FCA. **Manual Técnico da Via Permanente**. [S. l.: s. n.], 2009. E-book 363 p.

FERNANDES, G. **Comportamento de estruturas de pavimentos ferroviários com utilização de solos finos e/ou resíduos de mineração de ferro associados a geossintéticos**. 2005. 253 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

LIMA, H. A. D. **Procedimento para seleção de método de manutenção para a superestrutura ferroviária**. 1998. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 1998.

MACÊDO, F. B. **Estudo dos desgastes de trilhos ferroviários**. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2009. Disponível em < <http://www.ufjf.br/ep/trabalhos/tccs-2009-1/>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

MAGALHÃES, P. C. B. **Programa de capacitação em geometria de linha: Ênfase em segurança e comodidade**. Juiz de Fora: MRS Logística S.A., 2007.

MAIA, Víctor. **Superestrutura Ferroviária**. [S. l.], 20 dez. 2018. Disponível em: <<https://maquinadeaprovacao.com.br/engenharia/superestrutura-ferroviaria/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

PORTO, T. G. PTR 2501 – **FERROVIAS**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, 2004.

RODRIGUES, C. A. **Contribuição ao Planejamento da Manutenção Preditiva da Superestrutura Ferroviária**. 2001. 260 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2001.

SILVA, E. T. S. **Análise da evolução dos defeitos da via permanente da MRS para planejamento de intervenções preditivas de manutenção**. Monografia apresentada ao curso de especialização em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://transportes.ime.eb.br/via_perman.html>. Acesso em 10 mar. 2019.

SILVA, L. F. M. **Fundamentos Teórico-Experimentais Da Mecânica Dos Pavimentos Ferroviários E Esboço De Um Sistema De Gerência Aplicado À Manutenção Da Via Permanente**. 2002. 333 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SPADA, J. L. G. **UMA ABORDAGEM DE MECÂNICA DOS PAVIMENTOS APLICADA AO ENTENDIMENTO DO MECANISMO DE COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DA VIA FÉRREA**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.