

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANDRÉ SILVA LINHARES**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERESTRUTURA  
FERROVIÁRIA: um estudo de caso**

São Luís

2019

**ANDRÉ SILVA LINHARES**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERESTRUTURA  
FERROVIÁRIA: um estudo de caso**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho  
Coorientador: Prof. Esp. Thasso Colins Gonçalves

São Luís  
2019

**ANDRÉ SILVA LINHARES**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA: um estudo de caso**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho  
Coorientador: Prof. Esp. Thasso Colins Gonçalves

Aprovado em: 05 / 12 / 2019

BANCA EXAMINADORA

---

**Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho**  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves**  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Esp. Fabiano Petrucci de Sousa Ferreira**  
Universidade Estadual do Maranhão

A meus pais, Antonio Reinaldo S. Linhares e Viviane Maria A. da Silva, por todo amor, carinho, confiança, ensinamentos e esforços para que eu alcançasse todas as vitórias da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me acompanhar, guiar e abençoar durante toda a minha trajetória de vida.

Um agradecimento mais que especial a toda a minha família, por todo amor, carinho e auxílio durante toda minha vida. Aos meus pais, Antonio Reinaldo Santos Linhares e Viviane Maria Amaral da Silva, minhas irmãs que tanto amo Laíla, Thátyla e Shynaida Silva Linhares e ao meu sobrinho Leonardo por sempre renovar minhas forças.

Meus agradecimentos se estendem a todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica e contribuíram me fornecendo todo o conhecimento necessário pra que eu chegasse até aqui. Em especial, ao Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho por ter me acolhido e me guiado como meu orientador no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço imensamente ao meu coorientador, Prof. Esp. Thasso Colins Gonçalves, quem eu tive a honra de ser aluno, por sempre ter sido muito solícito e prestativo, com esclarecimentos e considerações impecáveis durante a elaboração desde trabalho.

Aos meus melhores amigos, que considero irmãos, Ricardo Assunção e Luis Carlos Fernandes, por estarem ao meu lado em todos os momentos, me apoiando e incentivando.

Aos meus grandes amigos e futuros companheiros de profissão, Diego Coqueiro, João Victor, João Pedro, Carlos Eduardo e Leonardo Chaves, meu muito obrigado por todos os anos de convivência.

À UEMA, uma instituição que me permitiu crescer e amadurecer como pessoa e como profissional.

Por fim, agradeço também a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A condição de conservação da superestrutura de uma ferrovia é um fator primordial para a operação ferroviária. Os fluxos operacionais são estabelecidos de acordo com a serventia de uma via férrea e podem ser inviabilizados caso os parâmetros de segurança, conforto e trafegabilidade não sejam atendidos. A ausência de métodos e normas que avaliem e regulamentem as obras do setor, aliada a falta de implantação de sistemas de gerências de pavimentos ferroviários, contribui significativamente para a degradação da via pelo avanço da gravidade dos defeitos existentes. Esta pesquisa, baseada em dados obtidos em inspeção de campo em um ramal da Estrada de Ferro Carajás, propõe uma avaliação, do trecho visitado, através de adaptações de conceitos de métodos subjetivos e objetivos para o pavimento ferroviário, analisando a via de maneira qualitativa e quantitativa. Buscou-se confrontar os dois aspectos, visando comprovar a veracidade dos dados obtidos e garantir a eficiência de ambas as metodologias de análise. Os dados foram analisados, discutidos e por fim, definiu-se a condição de operação da via, além de terem sido feitas recomendações de ações a serem tomadas para otimizar e tornar ainda mais viável a operação da ferrovia.

Palavras chave: Ferrovia. Superestrutura. Defeitos. Métodos de avaliação.

## **ABSTRACT**

The conservation condition of a railroad superstructure is a paramount factor for railroad operation. Operational flows are established according to the use of a railway and may be unfeasible if safety, comfort and trafficability parameters are not met. The default of methods and norms that evaluate and regulate the work of the sector, coupled with the lack of implementation of railway pavement management systems, contributes significantly to the degradation of the road due to the gravity increase of existing defects. This research, based on data obtained from field inspection at a Carajás Railroad branch, proposes an evaluation of the visited area, through adaptations of concepts of subjective and objective methods for the railway pavement, analyzing the road in a qualitative way and a quantitative way. It was sought to confront both aspects in order to prove the veracity of the data obtained and ensure the efficiency of both analysis methodologies. The data were analyzed, discussed and finally, the condition of the road operation was defined, and recommendations were made from actions to be taken to optimize and make the railway operation even more viable.

Keywords: Railroad. Superstructure. Defects. Evaluative methods.

## Lista de Ilustrações

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Seção transversal do pavimento ferroviário. ....                            | 21 |
| Figura 2 - Componentes da superestrutura ferroviária. ....                             | 23 |
| Figura 3 - Lastro ferroviário. ....  | 25 |
| Figura 4 - Tipos de dormentes. ....  | 27 |
| Figura 5 - Dormentes de madeira. ....  | 28 |
| Figura 6 - Dormente de aço. ....   | 30 |
| Figura 7 - Dormente de aço com fixação tipo GEO. ....                                  | 31 |
| Figura 8 - Dormente bi-bloco de concreto armado. ....                                  | 32 |
| Figura 9 - Dormente monobloco de concreto protendido. ....                             | 32 |
| Figura 10 - Dormente polibloco de concreto. ....                                       | 32 |
| Figura 11 - Dormentes de plástico. ....  | 33 |
| Figura 12 - Seção típica de trilho "Vignole". ....                                     | 35 |
| Figura 13 - Talas de junção. ....  | 37 |
| Figura 14 - a) Tala de junção com quatro furos; b) Tala de junção com seis furos. ...  | 38 |
| Figura 15 - Aruela tipo "Grower". ....   | 38 |
| Figura 16 - Placa de apoio. ....   | 39 |
| Figura 17 - a) Pregos de linha; b) Tirefão. ....                                       | 40 |
| Figura 18 - Fixação tipo GEO. ....   | 41 |
| Figura 19 - a) Grampo elástico simples; b) Grampo elástico duplo. ....                 | 41 |
| Figura 20 - Fixação tipo pandrol. ....   | 42 |
| Figura 21 - a) Fixação tipo Deenik; b) Fixação tipo RN. ....                           | 42 |
| Figura 22 - Defeitos de bitola: a) Alargamento; b) Estreitamento. ....                 | 44 |
| Figura 23 - Desnívelamento longitudinal. ....  | 44 |
| Figura 24 - Desalinhamento. ....   | 45 |
| Figura 25 - Empeno. ....   | 46 |
| Figura 26 - a) Trinca longitudinal na furação; b) Trinca longitudinal horizontal. .... | 48 |
| Figura 27 - Fratura transversal. ....  | 48 |
| Figura 28 - Fissuração no canto da bitola. ....  | 49 |
| Figura 29 - a) Esmagamento de boleto; b) Sulco no boleto. ....                         | 49 |
| Figura 30 - Desgaste ondulatório. ....   | 49 |
| Figura 31 - Caroço. ....   | 50 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 32 - Martelamento. ....                                  | 50 |
| Figura 33 - Formação de vazios no lastro. ....                  | 52 |
| Figura 34 - Trecho ferroviário analisado.....                   | 61 |
| Figura 35 - Avaliadores realizando inspeção.....                | 62 |
| Figura 36 - Demarcação e sentido dos subtrechos analisados..... | 65 |
| Figura 37 - Exemplo de demarcação dos trechos.....              | 66 |
| Figura 38 - Ausência de dormentes e tirefões na via. ....       | 73 |
| Figura 39 - Dormente avariado.....                              | 73 |
| Figura 40 - Tirefão empenado.....                               | 73 |
| Figura 41 - Tala de junção na via analisada.....                | 78 |
| Figura 42 - Condições de via.....                               | 79 |
| Figura 43 - Defeitos superficiais em trilhos. ....              | 80 |
| Figura 44 - Ausência de espaçamento entre os trilhos. ....      | 81 |
| Figura 45 - Insuficiência e colmatação do lastro. ....          | 81 |

## Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Medidas dos dormentes de madeira. ....           | 29 |
| Tabela 2 - Tipos de trilhos. ....                           | 36 |
| Tabela 3 - Notas subtrecho 01. ....                         | 67 |
| Tabela 4 - Notas subtrecho 02. ....                         | 68 |
| Tabela 5 - Notas subtrecho 03. ....                         | 68 |
| Tabela 6 - Notas subtrecho 04. ....                         | 69 |
| Tabela 7 - Notas subtrecho 05. ....                         | 69 |
| Tabela 8 - Notas subtrecho 06. ....                         | 70 |
| Tabela 9 - Notas subtrecho 07. ....                         | 70 |
| Tabela 10 - Notas do subtrecho 08. ....                     | 71 |
| Tabela 11 - Notas subtrecho 09. ....                        | 71 |
| Tabela 12 - Notas subtrecho 10. ....                        | 72 |
| Tabela 13 - Defeitos constatados na inspeção. ....          | 74 |
| Tabela 14 - Densidade dos subtrechos 01 a 05. ....          | 75 |
| Tabela 15 - Densidade dos subtrechos 06 a 10. ....          | 75 |
| Tabela 16 - Valores ponderados de VSA e densidade. ....     | 77 |
| Tabela 17 - Primeira parte do formulário de avaliação. .... | 88 |
| Tabela 18 - Segunda parte do formulário de avaliação. ....  | 89 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Comparativo entre VSA e densidade..... | 77 |
|--|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                     |
| AMV     | Aparelho de mudança de via                                   |
| ANTF    | Associação Nacional dos Transportes Ferroviários             |
| ANTT    | Agência Nacional de Transporte Terrestre                     |
| ASCE    | <i>American Society of Civil Engineers</i>                   |
| CN      | <i>Canadian National</i>                                     |
| CVRD    | Companhia Vale do Rio Doce                                   |
| CNI     | Confederação Nacional da Indústria                           |
| DNIT    | Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes      |
| DPR     | Dormente de Polímero Reciclado                               |
| EFC     | Estrada de Ferro Carajás                                     |
| ICP     | Índice de Condição do Pavimento                              |
| IGG     | Índice Global de Gravidade                                   |
| KM      | Quilômetro   |
| Kg/m    | Quilograma por metro   |
| NBR     | Norma Brasileira Regulamentadora                             |
| PND     | Plano Nacional de Desestatização                             |
| RAILER  | <i>Railroad Maintenance System</i>                           |
| SGP     | Sistema de Gerência de Pavimentos                            |
| TU      | Tonelada Útil  |
| USACERL | <i>U.S Army Construction Engineering Research Laboratory</i> |
| VSA     | Valor de Serventia Atual                                     |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                | <b>16</b> |
| <b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....             | <b>18</b> |
| <b>3 OBJETIVOS</b> .....                 | <b>19</b> |
| 3.1 Objetivo Geral .....                 | 19        |
| 3.2 Objetivos Específicos.....           | 19        |
| <b>4 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....       | <b>20</b> |
| 4.1 Pavimento ferroviário .....          | 20        |
| 4.2 Infraestrutura ferroviária.....      | 21        |
| 4.3 Superestrutura ferroviária .....     | 22        |
| 4.4 Componentes da superestrutura.....   | 22        |
| 4.4.1 Sublastro.....                     | 23        |
| 4.4.2 Lastro .....                       | 24        |
| 4.4.3 Dormentes .....                    | 26        |
| 4.4.3.1 Dormentes de madeira .....       | 27        |
| 4.4.3.2 Dormentes de aço .....           | 29        |
| 4.4.3.3 Dormentes de concreto .....      | 31        |
| 4.4.3.4 Dormentes de plástico .....      | 33        |
| 4.4.4 Trilhos .....                      | 34        |
| 4.4.5 Acessórios dos Trilhos.....        | 36        |
| 4.4.5.1 Acessórios de ligação.....       | 36        |
| 4.4.5.1.1 Talas de junção .....          | 36        |
| 4.4.5.1.2 Parafuso, porca e aruela ..... | 38        |
| 4.4.5.1.3 Placas de apoio.....           | 39        |
| 4.4.5.2 Acessórios de Fixação.....       | 39        |
| 4.4.5.2.1 Fixação Rígida .....           | 39        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.4.5.2.2 Fixação Elástica .....                             | 40        |
| 4.5 Defeitos em elementos da superestrutura ferroviária..... | 42        |
| 4.5.1 Defeitos geométricos .....                             | 43        |
| 4.5.1.1 Defeitos de bitola.....                              | 43        |
| 4.5.1.2 Defeitos de nivelamento .....                        | 44        |
| 4.5.1.3 Defeitos de alinhamento .....                        | 45        |
| 4.5.1.4 Defeitos de empeno.....                              | 46        |
| 4.5.2 Defeitos estruturais .....                             | 46        |
| 4.5.2.1 Defeitos em trilhos .....                            | 47        |
| 4.5.2.2 Defeitos nos acessórios de fixação .....             | 50        |
| 4.5.2.3 Defeitos nos dormentes.....                          | 51        |
| 4.5.2.4 Defeitos no lastro.....                              | 52        |
| 4.6 Manutenção de pavimentos ferroviários .....              | 52        |
| 4.7 Avaliação de pavimentos em sistema de gerência .....     | 54        |
| 4.7.1 Avaliação das condições do pavimento .....             | 55        |
| 4.7.1.1 Avaliação objetiva.....                              | 57        |
| 4.7.1.2 Avaliação subjetiva.....                             | 58        |
| <b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>                                | <b>60</b> |
| 5.1 Metodologia .....  | 60        |
| 5.2 Delimitação da área de estudo .....                      | 60        |
| 5.3 Métodos e Procedimentos .....                            | 62        |
| 5.3.1 Patologias no lastro .....                             | 64        |
| 5.3.2 Patologias nos dormentes .....                         | 64        |
| 5.3.3 Patologias nos trilhos.....                            | 64        |
| 5.3.4 Patologias nos acessórios .....                        | 64        |
| 5.3.4.1 Fixações .....                                       | 64        |
| 5.3.4.2 Ligações .....                                       | 65        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.4 Materiais e/ou equipamentos .....                       | 65        |
| 5.5 Inspeção de Campo .....                                 | 65        |
| 5.6 Resultados e discussões .....                           | 66        |
| 5.6.1 Avaliação subjetiva .....                             | 67        |
| 5.6.2 Avaliação objetiva .....                              | 72        |
| 5.6.3 Comparação entre as técnicas de avaliação .....       | 76        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                         | <b>82</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                     | <b>84</b> |
| <b>APÊNDICE A - Formulário utilizado para inspeção.....</b> | <b>88</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2018, o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil cresceu cerca de 1,1%. Nesse mesmo período, o setor de transportes brasileiro, registrou um crescimento no seu PIB de aproximadamente 2,2% (CNT, 2018). Tais dados revelam que, mesmo em tempos de crise, a demanda por movimentação de cargas atravessa cenários econômicos positivos e viáveis.

A instabilidade econômica vivida nos últimos anos, provocou uma onda de oscilações no mercado, que trouxe consigo a necessidade de mudanças e implantação de práticas inovadoras capazes de reverter o cenário mundial. Novos modelos de gestão mais eficazes foram surgindo e ressaltando a preocupação com a redução de custos, o que impactou diretamente no setor de logística.

Diante disso, criou-se a necessidade de repensar os modais de transporte de carga, bem como a sua distribuição, buscando alternativas para deixar o serviço mais ágil, eficiente e principalmente seguro. A diversificação dos segmentos de transporte foi se tornando mais presente e proporcionou destaque para algumas modalidades, como por exemplo, os setores rodoviário, ferroviário, aéreo, aquaviário, dutoviário e etc.

Alvo de estudo deste projeto, o setor ferroviário brasileiro, foi responsável pela movimentação e transporte de aproximadamente 569,8 milhões de toneladas úteis de mercadorias (TU) no ano de 2018, sob uma linha férrea de aproximadamente 30.576 (trinta mil, quinhentos e setenta e seis) km, percorridos por uma média de 3.688 (três mil, seiscentos e oitenta e oito) locomotivas e 100.158 (cem mil e cento e cinquenta e oito) vagões (CNT, 2018).

De acordo com dados publicados no Anuário Estatístico de Transportes do Ministério de Infraestrutura do ano de 2018, o transporte de minérios e grãos corresponde a cerca de 89,1% das cargas transportadas em meio ferroviário. E para garantir a eficiência e lucratividade dessa operação, é necessário que os materiais sejam transportados de maneira segura e contínua. Porém, faltam recursos estruturais que garantam esse processo.



As concessões das malhas ferroviárias feitas nos últimos anos, trouxeram grandes melhorias, porém, o Brasil ainda está longe de apresentar condições ideais de funcionamento deste modal, principalmente quando comparado a países mais desenvolvidos que transportam cerca de 40% da sua totalidade de cargas através das ferrovias.

Como problemática principal desse setor, pode-se destacar a deterioração das superestruturas ferroviárias, gerada pela ausência de um plano de manutenções eficiente aliada à falta de investimentos no setor. Estudos da Confederação Nacional da Indústria (CNI) a partir de dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), apontam que “cerca de 31% da malha ferroviária brasileira, encontra-se abandonada e carente de manutenções e reparos”, o que resulta em um desempenho insatisfatório por parte das concessionárias.

Diante disso, é notório que uma análise geral do estado de conservação da malha ferroviária brasileira é imprescindível, para que sejam constatados pontos para manutenção e melhoria, bem como a identificação do tipo de serviço mais viável e o período a ser realizado.

## 2 JUSTIFICATIVA

Na década de 90, iniciaram-se uma série de concessões ferroviárias à iniciativa privada com o objetivo de buscar melhores resultados no setor. Grandes investimentos foram feitos e trouxeram resultados expressivos, transformando déficits orçamentários em lucratividade. Porém, tais investimentos não duraram muito tempo e apesar de nos últimos anos o setor ferroviário apresentar uma crescente, diante dos outros modais, as ferrovias brasileiras andam em uma realidade distante de países desenvolvidos, devido à falta de investimentos e de modelos de gerência eficientes que consigam estancar os vazamentos provocados pelas falhas operacionais (COIMBRA, 2008).

A gestão da manutenção passou a ser considerada como uma atividade estratégica dentro das corporações, em que os resultados se encontram diretamente ligados ao desempenho, confiabilidade e segurança da operação ferroviária. É evidente que toda empresa visa o lucro, conseqüentemente gastos excessivos não devem ser tolerados. Estima-se que 70% do custo total durante o ciclo de vida de uma ferrovia, são destinados à manutenção da via férrea (DIAS *et al.* 2015).

Em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, os defeitos relacionados à via permanente são os maiores causadores de acidentes ferroviários desde 2009 (SGAVIOLI, BERNUCCI e MOTTA, 2015 apud BESSA, 2018, p. 22). Em contrapartida, para evitar a ocorrência destes eventos, foram aplicados em 2016, cerca de US\$ 10.6 bilhões na área de manutenção ferroviária, o que mostra os elevados custos nessa área (GORMAN; KANET, 2010 apud BARIA, 2015, p. 44).

No Brasil, a realidade não é diferente. De acordo com a ANTT (2014 apud MENDES, 2018, p. 36) a via permanente ferroviária é líder como principal causadora de acidentes ferroviários com cerca de 37,94% entre os anos de 2006 a 2013.

Diante disso, fica evidente que a implantação de melhorias na gestão da manutenção ferroviária é extremamente viável e resultaria em economias significativas, que viabilizariam ainda mais o modal de transporte ferroviário, além de proporcionar uma distribuição e escoamento da produção de forma mais ágil e eficiente, operando sempre com segurança.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar as condições da superestrutura da via permanente, em ferrovia de carga leve no Maranhão.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar as manifestações patológicas existentes em seguimento de superestrutura ferroviária;
- Aplicar as técnicas objetivas e subjetivas para avaliação da superestrutura;
- Comparar os resultados de avaliação da superestrutura ferroviária, para definição do estado de conservação no seguimento avaliado.

## **4 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **4.1 Pavimento ferroviário**

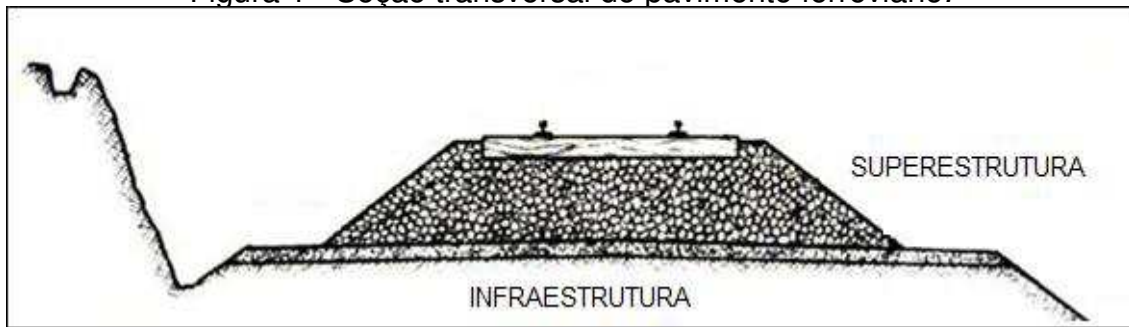
Após anos de esquecimento, o processo de alavancagem do sistema ferroviário brasileiro se iniciou em meados de 1992, com o Programa Nacional de Desestatização (PND), que proporcionou a concessão de malhas ferroviárias à iniciativa privada (SILVA JUNIOR, 2008).

Essa medida visava o reaquecimento do setor ferroviário no Brasil, que mostrou reação após grandes investimentos da iniciativa privada, proporcionando ao governo brasileiro uma arrecadação de cerca de 400 milhões por ano, contrapondo um antigo déficit em caixa de 350 milhões (ANTT, 2007 apud SILVA JUNIOR, 2008).

Todos esses investimentos, ocasionaram grandes melhorias e um aumento substancial na operação ferroviária. Porém, sua grade ainda se mostra tímida quando comparada à rodoviária. De acordo com a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários - ANTF (2019), o transporte ferroviário corresponde somente à 15% das operações de carga, enquanto o transporte rodoviário concentra cerca de 65%. Tais investimentos, proporcionaram um grande crescimento dos pavimentos ferroviários, em termos de extensão, que hoje contam com 30.576 km (CNT, 2019).

O modal de transporte ferroviário é conceituado como um sistema autoguiado, em que os veículos (motores e rebocados) se deslocam através de rodas metálicas apoiadas sobre duas vigas contínuas e longitudinais, também metálicas, denominadas de trilhos. As ferrovias são compostas por basicamente dois subsistemas, o material rodante, caracterizado por englobar os veículos tratores e rebocados, e a via permanente, da qual fazem a infraestrutura e superestrutura ferroviária, ilustrada abaixo na figura 1 (NABAIS, 2014).

Figura 1 - Seção transversal do pavimento ferroviário.



Fonte: Adaptado de Brina (1988).

A via permanente, como a parte da malha ferroviária, é responsável por receber os impactos causados pela carga imposta durante a circulação dos veículos, mantendo uma resposta elástica através dos materiais subjacentes. A capacidade de resistência da via permanente, está diretamente relacionada com a interação dos seus componentes, que tem a função de transmissão dos esforços ao longo da sua composição (SELIG e WATERS, 1994 apud COSTA, 2016, p. 08). Brina (1988) afirma que ela está suscetível a ação de desgaste gerado tanto pelo contato com as rodas dos veículos quanto pelas condições impostas pelas intempéries climáticas. Esse subsistema é composto pela infraestrutura ferroviária e pela superestrutura ferroviária.

#### 4.2 Infraestrutura ferroviária

A infraestrutura ferroviária pode ser definida como a parte do sistema que tem como função suportar a superestrutura das vias férreas (PEREIRA, 2016).

De acordo com Carvalho *et. al.* (1994 apud LIMA, 1998, p. 11) a infraestrutura é “o conjunto de obras implantadas em uma faixa de terreno, destinadas ao estabelecimento e à proteção do caminho de rolamento de uma via de comunicação terrestre (rodovia ou ferrovia)”. Machado (2006) diz que os elementos que constituem a infraestrutura podem ser classificados em:

- Terraplenos (cortes, aterros e seções mistas);
- Obras de artes correntes (drenos, bueiros, pontilhões, passagens inferiores e superiores, muros de arrimo e corta rios);
- Obras de artes especiais (bueiros especiais, túneis, pontes, viadutos e muros de arrimo especiais);

- Obras complementares (vedação da faixa de domínio, proteção de taludes, pátios de cruzamento e triagem e edificações).

### **4.3 Superestrutura ferroviária**

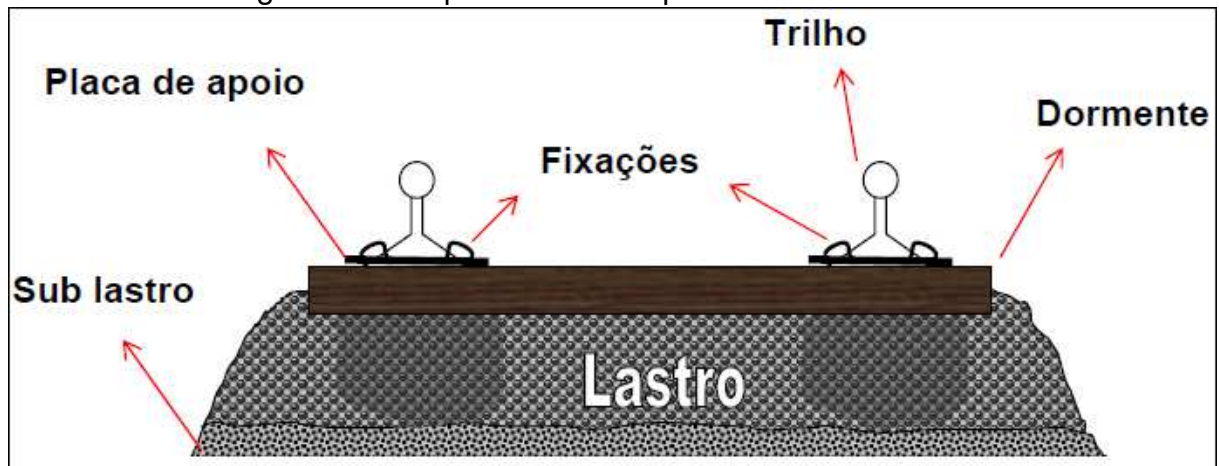
De acordo com o Glossário dos Termos Ferroviários (2016) do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT), a superestrutura ferroviária é a “parte superior da estrutura da via que suporta diretamente os esforços dos veículos e os transmite à infraestrutura.” Tem como principais componentes o sublastro, lastro, dormentes, trilhos e acessórios, e aparelhos de mudanças de via (AMVs), que estão sujeitos à desgastes provenientes de ações naturais do meio ambiente ou por circulação dos próprios veículos.

Para Nabais (2014) existem duas classificações para a superestrutura, sendo ela rígida e elástica. Quando há a utilização de dormentes assentados sobre lajes de concreto ou trilhos que tem sua fixação feita diretamente sobre uma viga, a superestrutura é considerada rígida. Porém ela passa a ser considerada como elástica, quando o lastro é usado para a distribuição dos esforços resultantes das cargas do material rodante através da plataforma ferroviária.

### **4.4 Componentes da superestrutura**

Neste item serão definidos os conceitos e características dos elementos, citados anteriormente, que compõem a superestrutura da via permanente, esquematizada na figura 2:

Figura 2 - Componentes da superestrutura ferroviária.



Fonte: Porto (2004).

#### 4.4.1 Sublastro

Devido ao sublastro ser uma camada superior a infraestrutura, alguns autores não o consideravam como parte da superestrutura. Porém, o surgimento características especiais, levadas em conta durante sua a construção, fez com que muitos autores passassem a ver o sublastro como um elemento fundamental para a superestrutura ferroviária (NABAIS, 2014).

Segundo Brina (1988, p. 09), essa camada intermediária entre o lastro e o subleito, tem como principais funções:

- Aumentar a capacidade de suporte da plataforma, permitindo elevar a taxa de trabalho no terreno ao serem transmitidas as cargas através do lastro e, por conseguinte, permitir menor altura do lastro;
- Evitar a penetração do lastro na plataforma;
- Aumentar a resistência do leito à erosão e à penetração da água, concorrendo, pois, para uma boa drenagem da via;
- Permitir relativa elasticidade ao apoio do lastro, para que a via permanente não seja rígida.

O material utilizado e empregado no sublastro melhora consideravelmente o padrão técnico da via permanente, diminui a necessidade de grandes volumes de lastro, além de tornar a manutenção da via mais barata e proporcionar uma maior viabilidade econômica na construção, visto que o material adotado no sublastro é mais

barato e pode ser encontrado nas proximidades da ferrovia, contrapondo o fato de que o material empregado no lastro ferroviário é considerado nobre e, torna-se caro e de alto custo, principalmente quando utilizado em grandes quantidades (NABAIS, 2014).

Para que o funcionamento do sublastro seja efetivo, deve-se garantir que a sua espessura adotada seja suficiente para que a taxa de distribuição das pressões através dele gere, em sua base, uma taxa de trabalho que esteja dentro dos seus limites de suporte (NABAIS, 2014).

#### 4.4.2 Lastro

O lastro é definido como a parte da estrutura ferroviária, que distribui uniformemente na plataforma os esforços da via férrea transmitidos através dos dormentes (DNIT, 2016).

Essa camada, também pode ser conceituada como uma camada granular compreendida entre os dormentes e o sublastro (caso haja) que ao realizar a distribuição dos esforços, garante a elasticidade da superestrutura (BRINA, 1988).

De acordo com Borges Neto (2019) um bom dimensionamento do lastro é primordial para o funcionamento da via permanente, visto que as funções desempenhadas por ele são de suma importância. Quando bem dimensionado, um lastro consegue obter uma boa resistência à rupturas e desgastes ocasionados pelo uso e por intempéries climáticas, além de evitar e corrigir irregularidades na plataforma, formando uma superfície contínua e uniforme para o repouso dos dormentes e trilhos. Pode-se citar também como função do lastro o travamento tanto longitudinal como transversal dos dormentes, além de permitir a drenagem das águas com a adequada permeabilidade, evitando o acúmulo de impurezas.

Para Nabais (2014) os materiais utilizados no lastro ferroviário, devem seguir as seguintes características:

- Suficiente resistência aos esforços transmitidos;
- Elasticidade limitada para abrandar os choques;
- Dimensões que permitam sua interposição entre os dormentes e o sublastro;



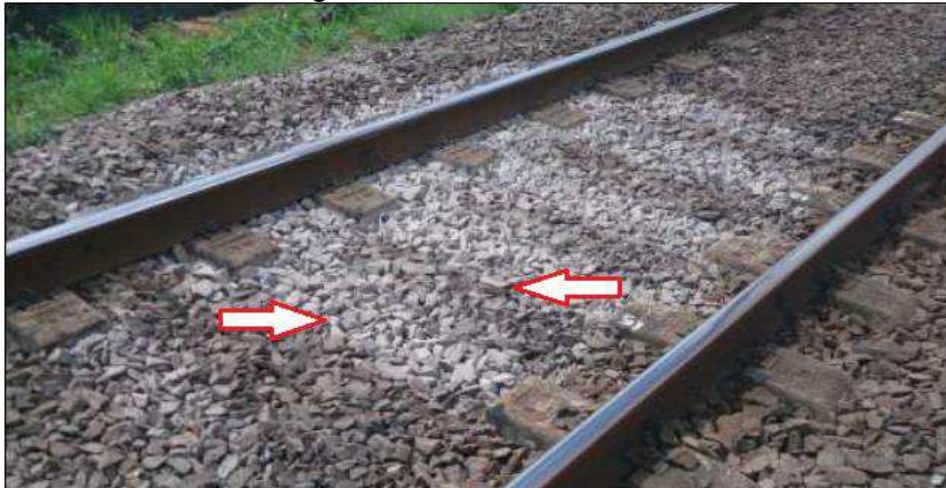
- Resistência aos agentes atmosféricos;
- Ser de material não absorvente, não poroso e de grãos impermeáveis;
- Não deve produzir pó.

De acordo com a ABNT NBR 5564/1991, os materiais utilizados no lastro devem seguir as seguintes especificações:

- Massa específica aparente mínima: 2,4 g/cm<sup>3</sup>;
- Absorção de água máxima: 1%;
- Porosidade aparente máxima: 1%;
- Resistência ao desgaste – abrasão de Los Angeles máxima: 40%;
- Resistência ao choque - índice de tenacidade Treton máximo: 20%;
- Formato da partícula: cúbica.

Dentre os materiais utilizados no lastro, certamente as pedras levam vantagens sobre os demais, pois são mais resistentes, não sofrem alterações por agentes atmosféricos e químicos, permite a socaria do lastro e são elásticas e permeável (NABAIS, 2014). A pedra mais comum é a pedra britada, ilustrada pela figura 3 a seguir:

Figura 3 - Lastro ferroviário.



Fonte: Adaptado de Paim da Silva (2014 apud PAIM DA SILVA, 2018 p. 13).

Materiais como terra, areia, cascalho e escória também podem ser usados para o lastro. Segundo Borges Neto (2019), esses elementos têm como características:

- Terra: É o mais barato, mas, também, o de pior qualidade. É normalmente, saturável pela água, causando desnivelamento na linha (“linha laqueada”), o que é a causa mais frequente de descarrilamentos;
- Areia: É drenante, pouco compressível, mas facilmente deslocada pela água. Tem o inconveniente de produzir poeira, extremamente, abrasiva que produz desgaste no material rodante e desconforto aos passageiros;
- Cascalho: É um bom tipo de lastro que quando britado, forma arestas vivas. Pode ser utilizado na forma natural encontrado nas cascalheiras. Deve ser lavado para ser separado de terras e outras impurezas;
- Escória: Algumas escórias de usinas siderúrgicas têm dureza e resistência compatíveis com esta aplicação. São utilizadas em linhas próximas das usinas.

#### 4.4.3 Dormentes

Os dormentes são os elementos da superestrutura ferroviária responsáveis por receber os esforços provenientes da circulação dos veículos e transmiti-los ao lastro. São responsáveis também pela fixação dos trilhos, garantindo que a distância entre eles, conhecida como bitola, seja invariável (BRINA, 1988).

Devido à grande importância desse elemento para a ferrovia, Nabais (2014) afirma que os dormentes devem seguir as seguintes características:

- Suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse os limites relativos a esse material;
- Sua espessura lhe dê a rigidez necessária, permitindo, entretanto, alguma elasticidade;
- Tenham suficiente resistência aos esforços solicitantes;
- Tenha durabilidade;
- Permita, com relativa facilidade, nivelamento do lastro (socaria) em sua base;
- Oponha-se de modo eficaz aos deslocamentos longitudinais e transversais da via;

- permita boa fixação do trilho, isto é, uma fixação firme, sem ser excessivamente rígida.

A sua distribuição em uma via é padronizada, com dormentes igualmente espaçamentos entre si, de mesma largura e comprimento, principalmente para que a bitola seja mantida. Porém existem casos especiais, em que são empregados dormentes com dimensões diferenciadas, de acordo com a necessidade. Esse fato acontece principalmente em trechos caracterizados pela presença de aparelhos de mudança de vias (AMVs), pontes, viadutos, juntas apoiadas e trechos com um terceiro trilho.

Existem diversos materiais empregados para a confecção dos dormentes. Brina (1988) diz que os principais são a madeira, o concreto e o aço. Porém existem outros autores que incluem nessa relação, a utilização de materiais alternativos, como o plástico (VALE, 2009). Na figura 4, estão ilustrados os materiais citados, respectivamente da esquerda para direita do tipo madeira, concreto, aço e plástico.

Figura 4 - Tipos de dormentes.



Fonte: Vale (2009).

#### 4.4.3.1 Dormentes de madeira

O dormente de madeira (Figura 5) sempre foi e, continua a ser, o material mais empregado para a fabricação de dormentes. Ela reúne em si a maior parte das qualidades exigidas para a confecção de um dormente de qualidade (BRINA, 1988).

Porém, as preocupações com as causas naturais, juntamente com a escassez de recursos, fizeram com que a madeira de grande qualidade, empregada nos dormentes, passasse a ser utilizada para fins e causas mais nobres, o que elevou o seu preço e tornou economicamente inviável essa aplicação ferroviária. A partir

disso, madeiras inferiores, tratadas com produtos químicos, passaram a ser empregadas na fabricação dos dormentes, tratamento esse que visava a diminuição da perda dos padrões de qualidade (NABAIS, 2014).

Em contrapartida a Vale (2009, p. 86), vê nos dormentes de madeira uma certa tendência ao apodrecimento e perda de capacidade de fixação pela degradação ou furação em excesso ou até mesmo por trincas e rachaduras.

Figura 5 - Dormentes de madeira.



Fonte: Mendes (2018).

Para Ildefonso (2013) a classificação dos dormentes quanto à forma pode ser dada por:

- Roliço: dormente utilizado em sua forma mais natural, com cortes horizontais somente nos pontos de pregação. As costaneiras ficam integrais na madeira;
- Semi-Roliço: o dormente é serrado somente na parte superior, onde os grampos são fixados;
- Duas faces: duas faces serradas e abauladas. As faces serradas ficam na parte superior e inferior do leito da ferrovia e servem para fixação dos pregos;
- Prismático: forma mais aprimorada do dormente, em que as quatro faces são serradas e a peça é esquadrihada.

A durabilidade dos dormentes está relacionada diretamente a fatores como qualidade, tratamento e grau de secagem da madeira, além da época do ano em que a madeira foi cortada. É influenciada também pelas condições climáticas, solicitações

geradas pelo trânsito pelos veículos (peso e velocidade dos trens), drenagem da via, que está diretamente ligada a qualidade do lastro, acessórios de fixações do trilho e a realização de manutenções constantes e periódicas (NABAIS, 2014).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece por meio da Norma Brasileira Regulamentadora ABNT NBR 7511/2005 valores para as dimensões dos dormentes, que são determinados de acordo com a bitola da via, conforme ilustrado na tabela 1.

Tabela 1 - Medidas dos dormentes de madeira.

| Bitola (m) | Comprimento (m) | Largura (m) | Altura (m) |
|------------|-----------------|-------------|------------|
| 1,60       | 2,80            | 0,24        | 0,17       |
| 1,00       | 2,00            | 0,22        | 0,16       |

Fonte: ABNT NBR 7511/2005.

Vale ressaltar que a ABNT NBR 7511/2005 admite uma tolerância, em que, no comprimento, são aceitos 5 (cinco) centímetros para mais ou para menos. Já na largura são aceitos 2 (dois) centímetros para mais e 1 (um) para menos. E por fim, a altura ou espessura flexibiliza uma margem de 1 (um) centímetro para mais.

#### 4.4.3.2 Dormentes de aço

De acordo com Nabais (2014), ao longo dos anos, diversos tipos de dormentes de aço foram construídos, porém a diferença entre eles eram detalhes simples relacionados as fixações dos trilhos.

Esses dormentes são formados por um chapa de aço laminado, em forma de “U” invertido, apresentando curvas em suas extremidades, que tem como função garantir a sua fixação no lastro ferroviário. Sua composição é relativamente leve e facilita o seu manuseio na montagem e em manutenções, porém torna-se inviável em vias com tráfego pesado (NABAIS, 2014).

Inicialmente, o pouco emprego dos dormentes de aço (figura 6), estava associado aos preços elevados, se comparado aos outros materiais. Com as privatizações e siderúrgicas e o aumento dos preços da madeira, o aço foi

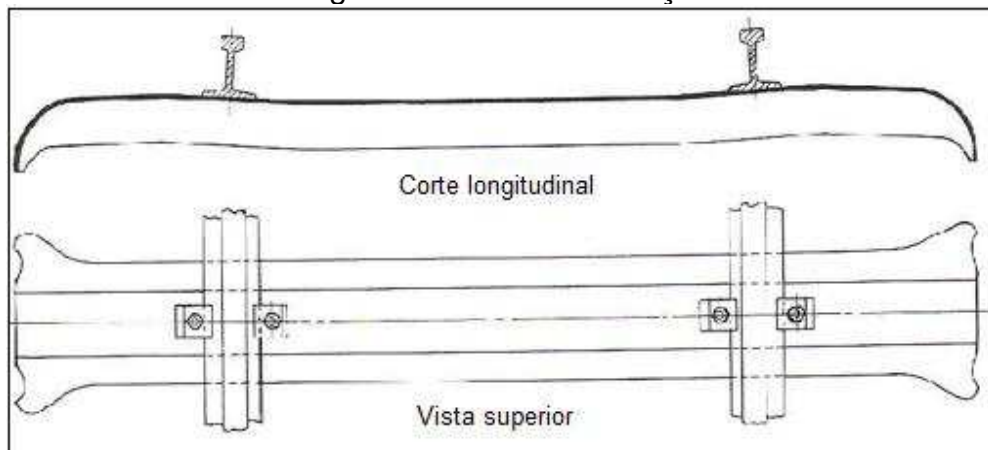
conquistando espaço e apresentam custos competitivos se comprado em grandes quantidades (BORGES NETO, 2019).

As desvantagens desse material, ficam por conta de suas propriedades. Por ser um bom condutor, o dormente de aço apresenta uma grande propagação de ruídos, o que ocasiona uma grande poluição sonora. Aliado a isso, tem-se a condução de eletricidade, que dificulta o isolamento elétrico dos trilhos, necessário para os circuitos de sinalização das linhas (BRINA, 1988).

Devido a sua rigidez, a fixação do trilho requer a utilização de materiais mais fortes e resistentes, por isso são utilizados parafusos ao invés de pregos, como no dormente de madeira. Esses parafusos, além de estarem mais suscetíveis ao afrouxamento, proporcionam uma maior fragilidade na peça, em que o alargamento dos furos feitos para os parafusos poderá ocasionar fissuras que irão inutilizar a peça, além de ser um dormente específico para o trilho em que foi projetado, não admitindo substituição de outros perfis (NABAIS, 2014).

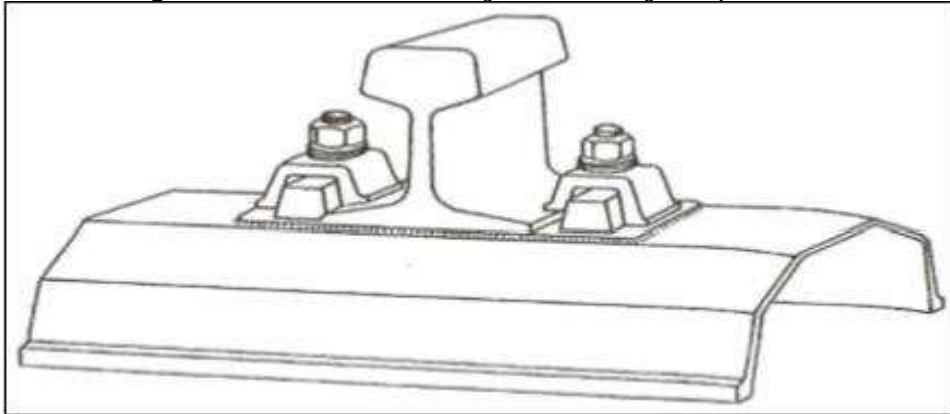
Para combater o enfraquecimento dos dormentes causado pelos furos dos parafusos, é necessário que seja adotado um outro tipo de dormente, que contenha nervuras soldadas na posição do apoio do patim do trilho e ainda utilizar de fixações do tipo GEO. Essas duas medidas estão retratadas abaixo na figura 7 (NABAIS, 2014).

Figura 6 - Dormente de aço.



Fonte: Adaptado de Brina (1988).

Figura 7 - Dormente de aço com fixação tipo GEO.



Fonte: Brina (1988).

#### 4.4.3.3 Dormentes de concreto

Mediante a escassez de boas madeiras para dormentes, para evitar o reflorestamento aliado aos grandes inconvenientes gerados pelos dormentes de aço, diversos países passaram a buscar soluções em outros materiais e nesse contexto surgiram os dormentes de concreto (BRINA, 1988).

Inicialmente, os dormentes de concreto foram uma remodelagem do dormente de madeira, apresentando, inclusive, o mesmo formato. Embora apresentassem armação metálica em sua composição, os primeiros dormentes não obtiveram resultados satisfatórios, visto que estavam sendo constatadas grandes fissuras e trincas, provenientes das vibrações e choques produzidos pelo trânsito dos veículos. As patologias se apresentavam geralmente na parte intermediária do dormente devido ao apoio irregular no lastro (BORGES NETO, 2019).

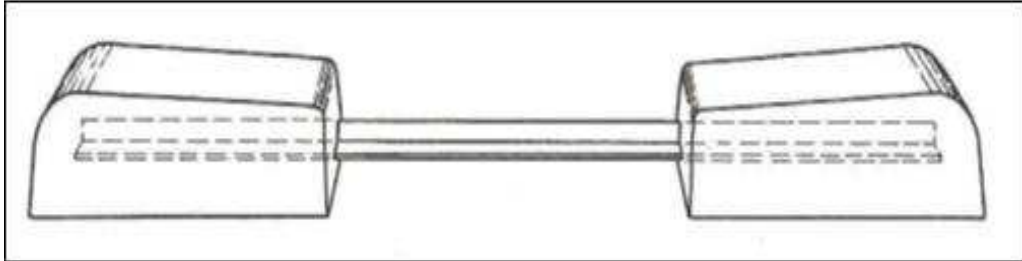
Após diversos estudos, pode-se constatar nos últimos anos, um grande avanço no processo de fabricação dos dormentes de concreto. Depois de diversos modelos propostos e testados, finalmente se conseguiu chegar em uma opção que viabilizasse econômica e tecnicamente o seu uso (BORGES NETO, 2019).

Foram propostos três tipos principais de dormentes de concreto: bi-bloco de concreto armado (misto), o monobloco de concreto protendido e o polibloco (menos usual). De acordo com Ildefonso (2013), temos que:

- Dormente Bi-bloco de concreto armado: Formado por dois blocos de concreto armado (figura 8) interligados por um perfil metálico. Proporciona

maior leveza à peça e melhor apoio ao lastro, reduzindo os riscos de fraturas no centro no dormente.

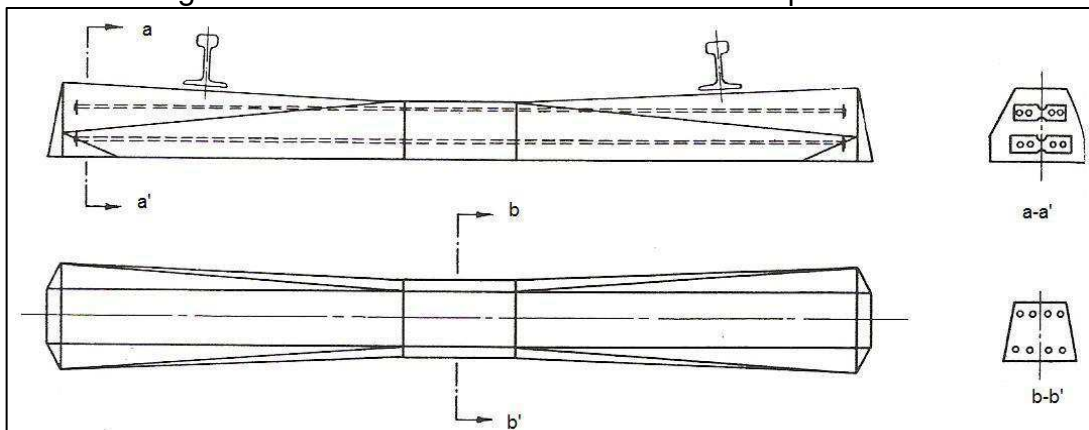
Figura 8 - Dormente bi-bloco de concreto armado.



Fonte: Brina (1988).

- Dormente monobloco de concreto protendido: consiste basicamente em uma viga monolítica de concreto protendido (figura 9). Apresenta elevada estabilidade devido ao elevado peso próprio, permite o uso em bitolas mistas e aparelhos de mudança de via.

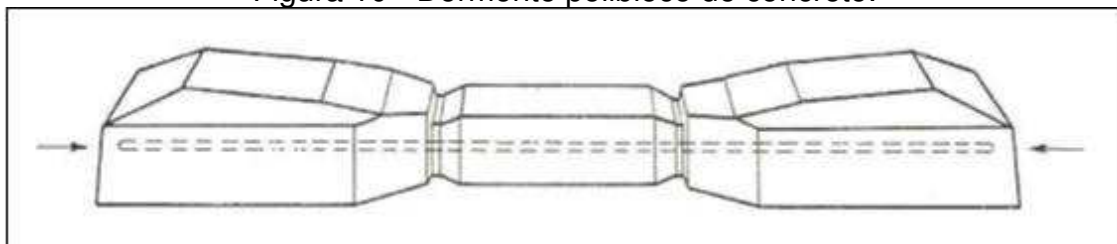
Figura 9 - Dormente monobloco de concreto protendido.



Fonte: Brina (1988).

- Polibloco: É constituído por dois blocos de extremidade, de concreto armado, ligados por um bloco intermediário de concreto (viga), através de cordoalhas de aço tensionadas.

Figura 10 - Dormente polibloco de concreto.



Fonte: Brina (1988).



#### 4.4.3.4 Dormentes de plástico

Diante das preocupações com os recursos naturais, as fontes alternativas foram ganhando cada vez mais espaço e se tornando realidade. Nesse cenário, pode-se citar, como exemplo, o surgimento dos dormentes de plásticos (figura 11).

Figura 11 - Dormentes de plástico.



Fonte: Vidon (2012 apud TRINDADE, 2012, p. 35).

Para Nabais (2014) os dormentes de plástico possuem as seguintes vantagens:

- Resistência mecânica se comparado a madeira;
- Resistência inerente ao apodrecimento, à umidade e à ação de insetos e fungos, sem a necessidade de adição de agentes tóxicos para tratamento prévio;
- Grande previsão de vida útil (entre 40 e 50 anos);
- É totalmente reciclável. Se não passar no controle de qualidade ou se for avariado por acidente, deve voltar à fábrica como matéria-prima para um novo Dormente de Polímero Reciclado (DPR);
- É aderente aos padrões ambientais, pois, além de reduzir a quantidade dos poluentes resistentes (sacolas, embalagens plásticas, garrafas pet), possui a menor taxa de emissão de fases de efeito estufa e de CO<sub>2</sub> entre todos os dormentes (madeira, aço e concreto) durante todo seu ciclo de vida;
- Superior manutenção de torque dos tirafios, acima do limite exigido para o dormente de madeira, que é de 25 kgf/m;

- Além das vantagens relacionadas, os dormentes de plástico devem cumprir as exigências técnicas estabelecidas pela ABNT e em anexos no que se refere à resistência à flexão com seu módulo de elasticidade  $> 1.170 \text{ Mpa}$  e sua resistência ao abraçamento das fixações  $\geq 1,9 \text{ tf}$ .

#### 4.4.4 Trilhos

O trilho é o elemento componente da superestrutura da via permanente que constitui a superfície de rolamento para as rodas dos veículos ferroviários, servindo-lhes, ao mesmo tempo, de apoio e guia (NABAIS, 2014).

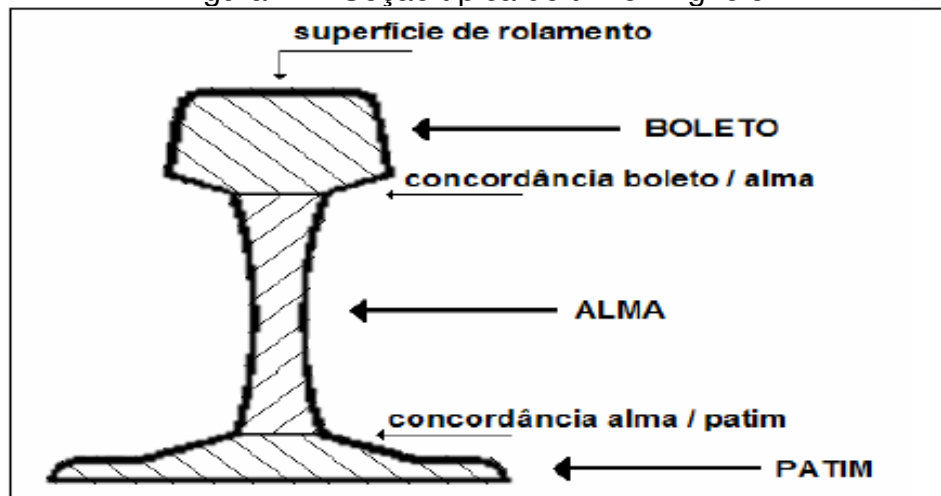
Funcionam, basicamente, como uma viga contínua que tem a finalidade de transmitir os esforços gerados, pelo trânsito dos veículos, aos dormentes ferroviários, componentes aos quais se encontram fixados (PORTO, 2004).

Ao longo dos anos, os trilhos sofreram significativas mudanças no seu processo de fabricação, principalmente devido ao desenvolvimento da tecnologia do aço. O formato e o comprimento das peças foram sofrendo diversas alterações, até que a seção ideal fosse encontrada.

Atualmente, o modelo de trilho mais empregado segue o padrão Vignole, ilustrado na figura 12, em homenagem ao seu idealizador, engenheiro inglês Vignole. Esse trilho é composto por basicamente três partes, que de acordo com Ildelfonso (2013) podem ser definidas como:

- Boleto: parte superior do trilho, na qual se apoiam e são guiadas as rodas dos veículos;
- Alma: parte estreita e vertical do trilho, entre o boleto e o patim;
- Patim: parte inferior do trilho, mais larga, que se assenta no dormente direta ou indiretamente.

Figura 12 - Seção típica de trilho "Vignole".



Fonte: Metalica (2007 apud SILVA JUNIOR, 2008, p. 21).

Anteriormente ao desenvolvimento desse tipo de trilho, utilizava-se comumente o trilho de duplo boleto, em que dois boletos eram ligados à cada extremidade da alma. Um dos boletos cumpria a função que hoje é desempenhada pelo patim e se apoiava a uma peça especial, denominada panela (ILDEFONSO, 2013).

A geometria do perfil Vignole favorece a resistência à flexão e aos demais tipos de esforços sofridos pelos trilhos. Por isso, o seu formato em duplo "T", que foi adotado desde os primeiros modelos de trilho, permanece até hoje, já que oferece uma maior resistência e se torna mais viável economicamente. Esse fato é atribuído ao maior momento de inércia da peça, já que a maior concentração de massas se dá nas extremidades, justamente onde são recebidos os maiores esforços (NABAIS, 2014).

Os trilhos são classificados em tipos de acordo com sua massa por metro em kg/m. Para simplificação da identificação, é feito um arredondamento do valor da massa para um número inteiro. De acordo com a ABNT NBR 7590/2012 são adotados os seguintes tipos de trilhos:

Tabela 2 - Tipos de trilhos.

| Tipo         | Massa nominal (Kg/m) |
|--------------|----------------------|
| TR37         | 37,1                 |
| TR45         | 44,64                |
| TR50         | 50,35                |
| TR57         | 56,9                 |
| UIC60 (TR60) | 60,34                |
| GB60 (TR60)  | 60,64                |
| TR68         | 67,56                |
| 140RE (TR70) | 69,5                 |
| 141RE (TR70) | 69,9                 |

Fonte: NBR 7590/2012

Comercialmente, os trilhos são fabricados e encontrados em dimensões de 12, 18 e 24 de comprimento, quando medidos à temperatura normal de 20 °C. É necessário que sejam realizados testes para verificação de qualidade na fabricação dos trilhos, com a finalidade de garantir melhores condições de operação e para isso, existem diversos ensaios destrutivos e não destrutivos, e como principais, podem ser citados: testes de tração, impacto, dureza, entalhe e fratura (NABAIS, 2014).

#### 4.4.5 Acessórios dos Trilhos

##### 4.4.5.1 Acessórios de ligação

###### 4.4.5.1.1 Talas de junção

Segundo Borges Neto (2019, p. 108), talas de junção “são duas peças de aço, posicionadas em ambos os lados dos trilhos, apertadas contra a parte inferior do boleto e a parte superior do patim, visando estabelecer a continuidade dos trilhos.”

As grandes dimensões dos trilhos, trazem dificuldades na laminação e nos transportes dentro de usinas, por isso a necessidade de uma continuidade, oferecida pelas talas de junção. O autor aponta, também, que a sua finalidade é oferecer maior

inércia, fazendo com que os trilhos se deformem com mais dificuldade (NABAIS, 2014).

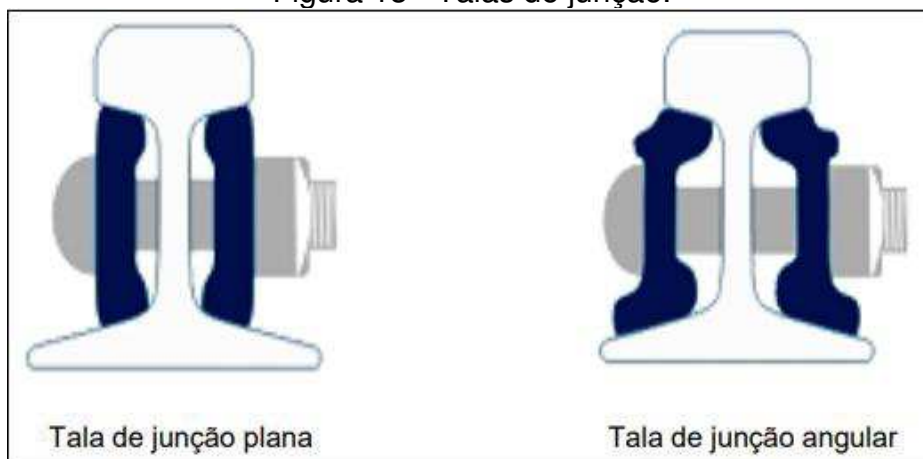
Comercialmente, encontram-se talas de junção com quatro e seis furos, com destaque para as de seis, que proporcionam uma maior firmeza e além de se adaptarem melhor à situação de curvas (BRINA, 1988).

De acordo com Nabais (2014, p. 202), “a forma e a dimensão das talas, variam dentro de certos limites e, geralmente, são padronizadas por associações técnicas ou mesmo pelas próprias estradas de ferro, de acordo com os tipos de trilhos.”

No Brasil, as talas de junção fabricadas atendem as especificações da American Society of Civil Engineers (ASCE), no português significa Associação Americana de Engenheiros Cíveis e também da AREMA e, igualmente aos trilhos, tem sua representação feita pela sigla TJ, como abreviação do nome tala de junção (NABAIS, 2014).

Os principais tipos de talas de junção, estão representados na figura 13:

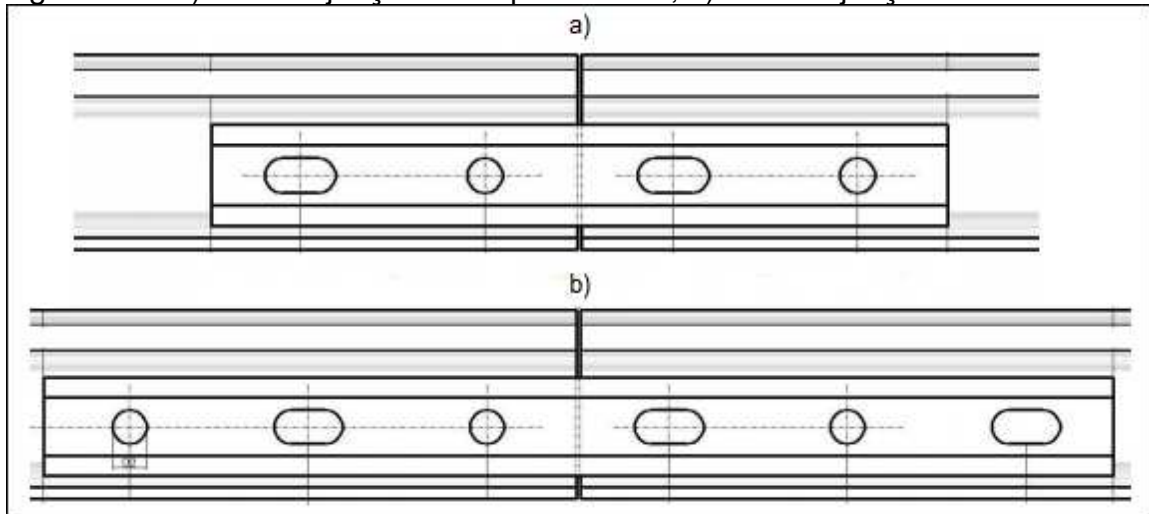
Figura 13 - Talas de junção.



Fonte: DNIT (2015).

As talas de junção com quatro e seis furos, estão ilustradas a seguir na figura 14.

Figura 14 – a) Tala de junção com quatro furos; b) Tala de junção com seis furos.



Fonte: DNIT (2015).

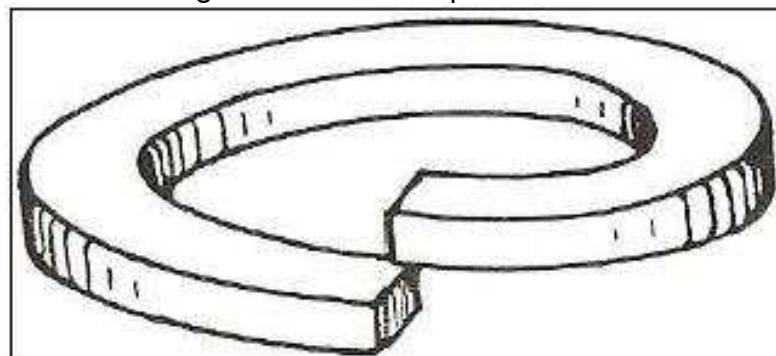
#### 4.4.5.1.2 Parafuso, porca e aruela

O dispositivo que aperta a tala de junção contra as pontas dos trilhos são os parafusos simples com porcas, que apresentam próximos a cabeça uma “gola” oval. A finalidade desse conjunto, é evitar que o parafuso gire ao ser apertado pela porca, não havendo a necessidade de segurá-lo (BRINA, 1988).

Deve ser colocado entre a tala e a porca do parafuso uma arruela, para impedir que o parafuso afrouxe com a trepidação na passagem dos trens, já que ela proporciona uma maior pressão, absorve vibrações e mantém o aperto desejado, mesmo quando ocorre ligeiros afrouxamentos (NABAIS, 2014).

Como exemplo principal de arruelas, têm-se a arruela do tipo Grower (Figura 15).

Figura 15 - Aruela tipo "Grower".



Fonte: Brina (1988).

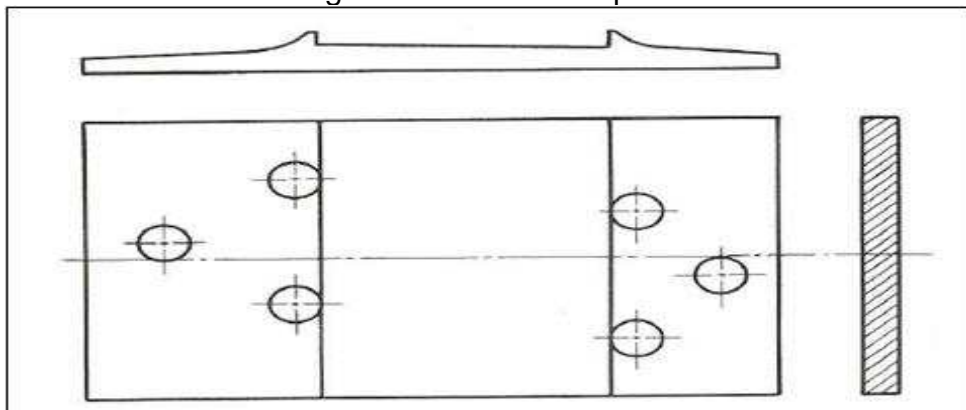
#### 4.4.5.1.3 Placas de apoio

As placas de apoio (figura 16) são utilizadas para aumentar a área de apoio dos trilhos aos dormentes, por isso ela é introduzida entre eles. Ela é constituída de uma chapa, com a quantidade de furos necessários para a passagem dos elementos de fixação do trilho ao dormente (BORGES NETO, 2019).

Esse elemento prolonga a vida dos dormentes, pois proporciona uma melhor distribuição das tensões sobre ele, além de evitar que o patim do trilho corte o dormente nas arestas externas (NABAIS, 2014).

As placas possuem nervuras, no local em que o patim descansa, fazendo com que todo o esforço transmitido por ele, seja repassado às pregações por meio das placas (BRINA, 1988).

Figura 16 - Placa de apoio.



Fonte: Brina (1988).

#### 4.4.5.2 Acessórios de Fixação

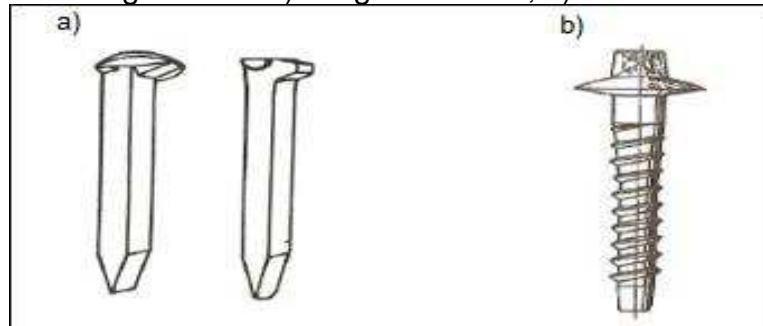
Esses elementos têm como principal função fixar os trilhos aos dormentes, garantindo a bitola da via. Essa fixação pode ser de dois tipos, rígida ou elástica.

##### 4.4.5.2.1 Fixação Rígida

Segundo Ildefonso (2013), a fixação rígida não permite flexibilidade aos trilhos, além de não absorver parte dos esforços gerados pelo tráfego, como vibrações e impactos. O autor afirma ainda que, as fixações mais utilizadas são os pregos de linha e o tirefão:

- Prego de linha: tipo de fixação mais comum e simples. Apresenta seção retangular, com uma finalização em cunha. A cravação pode ser feita manualmente, com marretas, ou mecânica;
- Tirefão: é um parafuso auto-roscante (rosca soberana). Sua fixação é feita por meio de um equipamento chamado de tirefonadeira.

Figura 17 – a) Pregos de linha; b) Tirefão.



Fonte: Brina (1988).

O tirefão leva uma certa vantagem em relação aos pregos de linha, já que, por ser parafusado, ele se torna mais benéfico a madeira do dormente, prejudicando menos as suas fibras e oferecendo uma maior resistência ao arrancamento. O tirefão veda hermeticamente o dormente, impedindo a entrada de água e impurezas, fato que não ocorre quando a fixação é feita por pregos (BRINA, 1988).

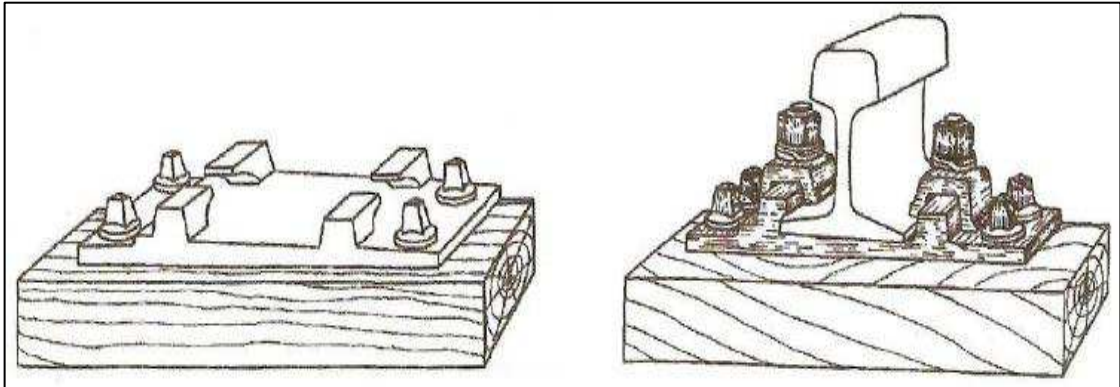
#### 4.4.5.2.2 Fixação Elástica

São fixações tecnicamente mais eficazes pois, diferentemente das fixações rígidas, proporcionam mais conforto à via ao absorverem parte dos esforços oriundos do tráfego de veículos, reduzindo choques, ruídos e vibrações. No mercado são encontrados diversos tipos de fixações elásticas, que podem ser utilizadas em todos os tipos de dormentes. Segundo Ildefonso (2013) as mais conhecidas são:

- Tipo GEO: composta por uma placa de aço nervurada, fixada ao dormente, na qual há o encaixe de parafusos, geralmente tirefões, que apertam uma castanha contra o patim (figura 18);



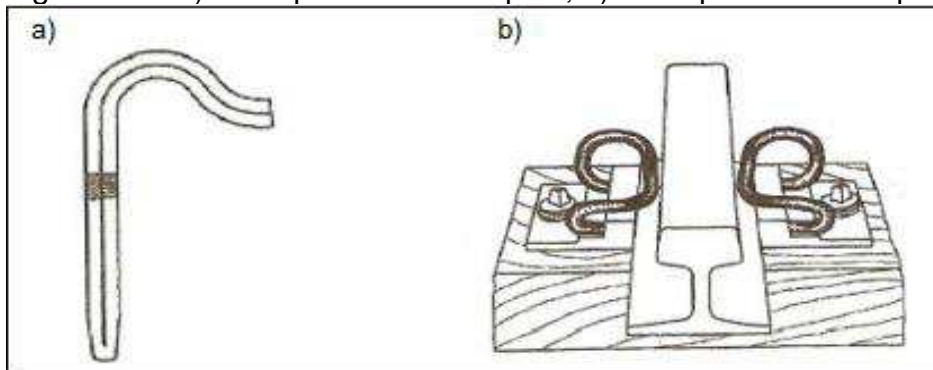
Figura 18 - Fixação tipo GEO.



Fonte: Brina (1988).

- Grampo elástico simples: é fabricado com aço doce, apresenta uma seção quadra em seu corpo, que penetra o dormente. A parte superior é curva, com a finalidade de prender os trilhos, evitando deslocamentos longitudinais;
- Grampo elástico duplo: o funcionamento é basicamente igual ao anterior, porém apresenta duas hastes fixadas ao dormente;

Figura 19 – a) Grampo elástico simples; b) Grampo elástico duplo.



Fonte: Brina (1988).

- Pandrol: apresenta uma seção circular, com a fixação através do patim utilizando placas de apoio e fabricada em aço mola (figura 20);

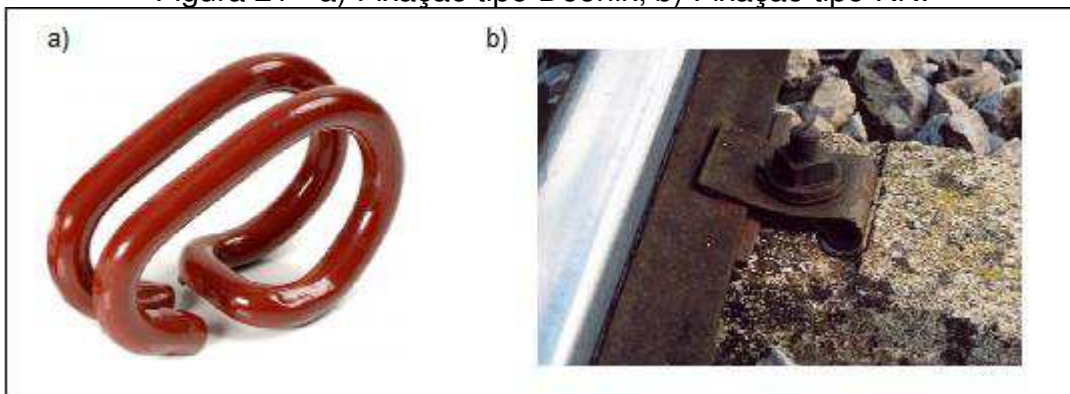
Figura 20 - Fixação tipo pandrol.



Fonte: Ildefonso (2013).

- Deenik: permite pequenos deslocamentos ao trilho e é mais utilizada em dormentes de concreto e madeira;
- Tipo RN: Consiste em um grampo de aço doce, que pressiona o patim ao dormente. Coloca-se entre ambos, uma “palmilha” de borracha para proporcionar maior elasticidade ao conjunto.

Figura 21 - a) Fixação tipo Deenik; b) Fixação tipo RN.



Fonte: Ildefonso (2013).

#### 4.5 Defeitos em elementos da superestrutura ferroviária

Ao ser colocada em operação, a via férrea, assim como qualquer outro pavimento, torna-se vulnerável e suscetível à degradação proveniente das ações dinâmicas e esforços oriundos do trânsito do material rodante. É evidente que essas perturbações, são responsáveis por gerar alterações dos parâmetros estabelecidos em projeto para as corretas condições e posições da via. Vale ressaltar que, aliado aos defeitos de uso, as intempéries climáticas e atmosféricas também são grandes agentes causadores de patologias nas linhas férreas (LIMA, 1998).

O conhecimento de cada tipo de defeito, bem como sua causa e onde está estabelecido é de suma importância para uma boa operação ferroviária, otimizando as condições de trabalho, evitando possíveis acidentes e desgastes excessivos. A classificação dessas patologias é comumente dividida em: defeitos geométricos e defeitos estruturais (ILDEFONSO, 2013).

#### 4.5.1 Defeitos geométricos

Essas patologias estão relacionadas à localização espacial da via, e tem ligação direta com o deslocamento realizado pelos trilhos, fora dos limites estabelecidos pelo projeto. Geralmente são constatados por elementos maquinários e são exemplificados por: defeitos de bitola, nivelamento, alinhamento e empeno (ILDEFONSO, 2013).

##### 4.5.1.1 Defeitos de bitola

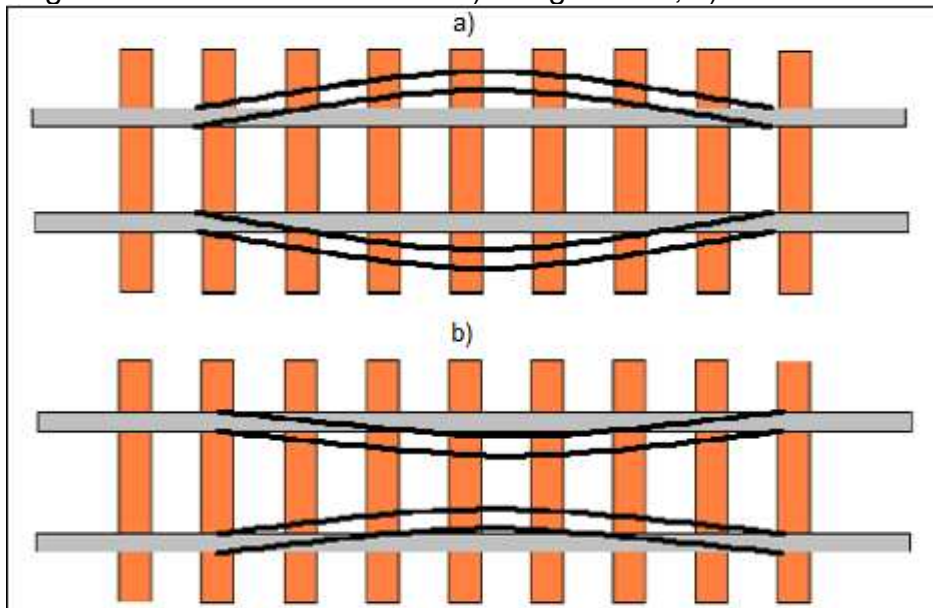
Schramm (1977, apud LIMA, 1998, p. 34) afirma que a bitola é “a distância que entre si guardam os dois trilhos da linha, medida a 14 mm abaixo da superfície de rolamento do boleto”.

Como principais defeitos de bitola, são citados o alargamento e o estreitamento de bitola. O primeiro é constatado quando o valor medido em campo é superior ao valor de projeto. Por consequência, o segundo é caracterizado pelo valor de campo ser inferior ao projetado (LIMA, 1998).

Para Guideness for Track Defects & Reports (1996 apud LIMA, 1998, p. 42), os principais causadores de defeitos de bitola são:

- Dormentes em condições ruins;
- Desgastes das placas de apoio;
- Falta ou folga de parafusos e tirefões;
- Deformações no lado interno dos trilhos.

Figura 22 – Defeitos de bitola: a) Alargamento; b) Estreitamento.



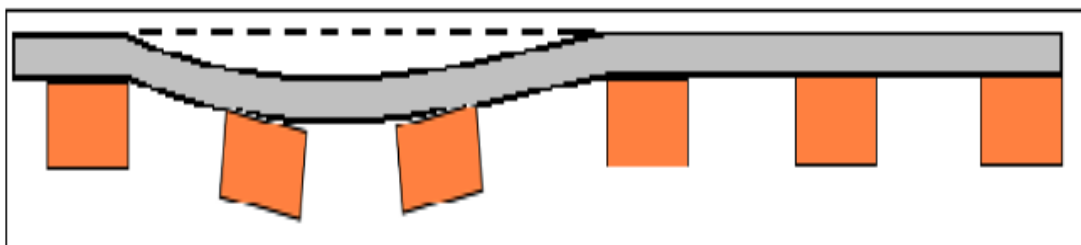
Fonte: Ildefonso (2013).

#### 4.5.1.2 Defeitos de nivelamento

Para que se tenha um perfeito nivelamento da via, os materiais empregados durante a construção férrea devem ser de alta qualidade, visto que esse fator interfere diretamente na resistência as cargas, que quando mal distribuídas, aceleram o processo de desnivelamento, que ocorre tanto longitudinal quanto transversalmente (SILVA, 2006 apud OLIVEIRA, 2018, p. 40).

O desnivelamento longitudinal está relacionado à diferença de nível entre a cota de projeto e a cota real, conforme ilustrado na figura 23 (LIMA, 1998).

Figura 23 - Desnivelamento longitudinal.



Fonte: Ildefonso (2013).

Já o desnivelamento transversal é referente a diferença de nível entre os trilhos e é resulta em um movimento de balanço nos veículos motores e tratores (LIMA, 1998).

Os principais fatores de desnivelamento, de acordo com Silva (2006, apud OLIVEIRA, 2018, p. 40) são:

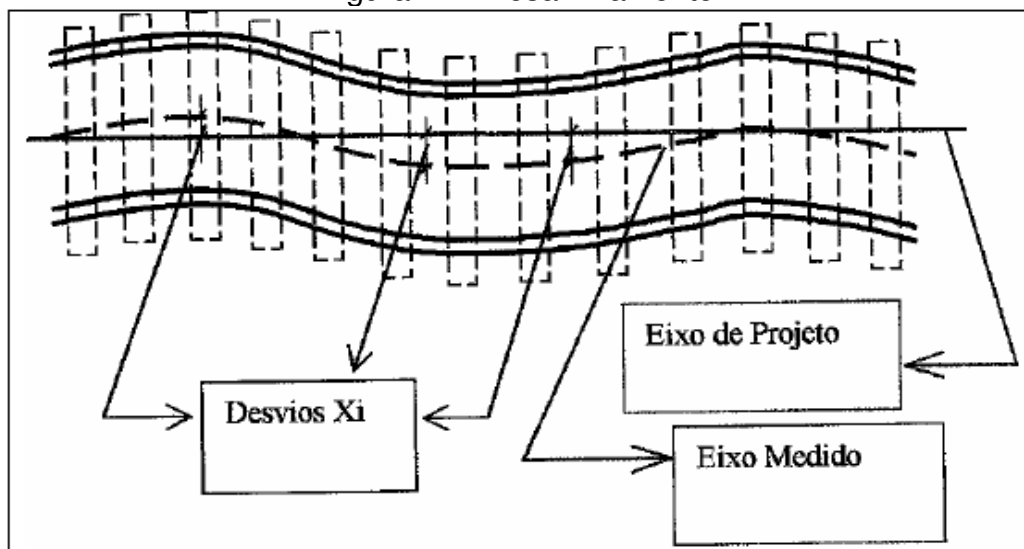
- Dormentes laqueados ou defeituosos;
- Trilhos corrugados;
- Bolsões de lama;
- Juntas desniveladas.

#### 4.5.1.3 Defeitos de alinhamento

Existe um eixo horizontal que serve de guia para toda a linha férrea. Esse eixo é utilizado como parâmetro de alinhamento e serve de base para as concepções geométricas utilizadas na via. Para otimizar e suavizar o deslocamento do material rodante, esse alinhamento deve ser o mais próximo possível do eixo de projeto (LIMA, 1998).

O defeito ocorre, quando o desalinhamento supera os limites considerados no projeto. A constatação pode ser feita por uma análise individual de cada trilho e está comumente ligada à quebra de trilhos ou à sua ligação enfraquecida aos dormentes (ILDEFONSO, 2013).

Figura 24 - Desalinhamento.



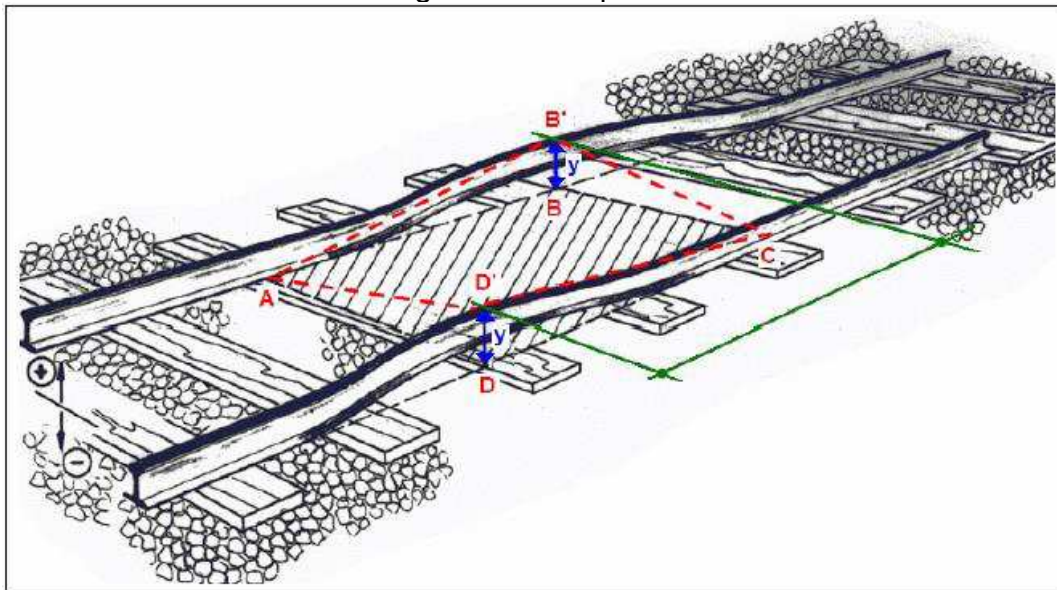
Fonte: Lima (1998).

#### 4.5.1.4 Defeitos de empeno

Para que seja constatado esse tipo de defeito, é necessário que seja traçado com plano com pelo menos quatro pontos, dois em cada trilho, e o empeno será caracterizado a partir da diferença de nível que esses pontos apresentam em relação ao plano projetado e como são vários pontos, o empeno será dado pela máxima distância medida (ILDEFONSO, 2013).

Assim como os desnivelamentos, o empeno também deve ser controlado e tratado constantemente, pois impactam diretamente na segurança da operação ferroviária, já que apresentam como principais consequências o descarrilhamento e tombamento do material rodante. São mais comuns em linhas com quantidades significativas de juntas consecutivas e alternadas (LIMA, 1998).

Figura 25 - Empeno.



Fonte: Coimbra (2008).

#### 4.5.2 Defeitos estruturais

Os defeitos estruturais estão ligados diretamente aos materiais componentes da superestrutura ferroviária. O foco desse tipo de análise, é verificar as condições e possíveis avarias em trilhos, dormentes, lastro, sublastro e acessórios de fixação, levando em consideração a presença de fissuras ou trincas, fixações quebradas, materiais apodrecidos, impurezas e outros (ILDEFONSO, 2013).

Para uma melhor análise, a conceituação e estudo das patologias estruturais pode ser feita de maneira individual, analisando item a item.

#### 4.5.2.1 Defeitos em trilhos

Os trilhos atuam em contato direto com as rodas dos veículos, ou seja, um contato aço com aço. Devido as propriedades dos materiais, a tensão entre eles tende a ser bastante elevada, o que acarreta um desgaste bem superior a outros elementos (SEMPREBONE, 2005).

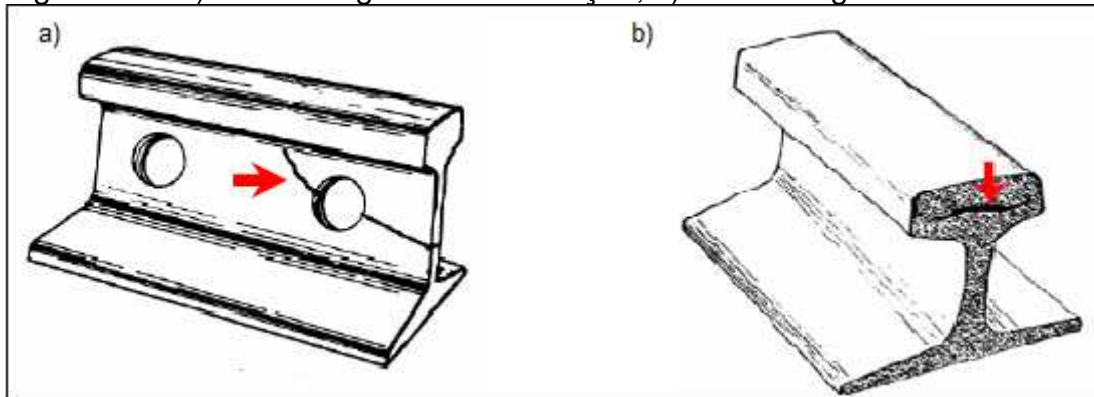
O desgaste, além do limite estabelecido, gerará alterações nas características do trilho, comprometendo o rendimento e a segurança das operações, visto que, geralmente, os acidentes oriundos desse tipo de defeito, apresentam grandes proporções (PEDRONI, 2008).

Os defeitos presentes nos trilhos, apresentam-se tanto internamente, geralmente ligados ao seu processo de fabricação (defeito metalúrgico), quanto externamente, advindos da solicitação do uso em serviço, além de desgastes naturais por efeitos ambientais (COIMBRA, 2008).

As patologias, mesmo que internas, tendem a apresentar reflexos externos. De acordo com a Companhia Vale do Rio Doce - CRVD (2001 apud COIMBRA, 2008, p. 76) os defeitos em trilhos podem ser classificados como:

- Longitudinais: defeitos constatados no sentido do comprimento do trilho. As principais são as trincas verticais e horizontais, bolhas, trincas nas junções (boleto/alma e alma/patim) e nas furações. São geralmente provenientes de impurezas ou segregações durante o processo de fabricação do trilho, ocasionando perda de funcionalidade, ao diminuir a resistência as tensões;

Figura 26 – a) Trinca longitudinal na furação; b) Trinca longitudinal horizontal.



Fonte: Coimbra (2008).

- Transversais: comumente são geradas por defeitos internos, e atuam na direção transversal ao trilho. Sua constatação geralmente é feita por meio de aparelhos, como o de ultrassom. Podem ser fraturas (figura 27) simples ou compostas (formam fraturas em dois planos);

Figura 27 - Fratura transversal.

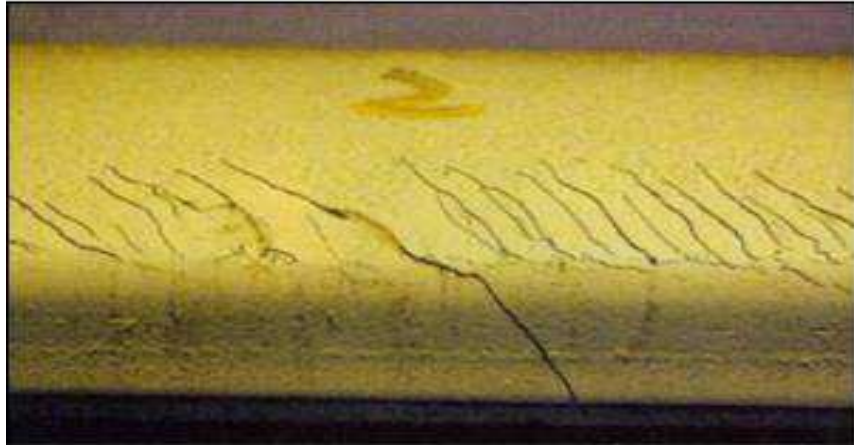


Fonte: MRS Logística (apud PEDRONI, 2008, p. 69).

- Superficiais: são defeitos comumente constatados na superfície do boleto dos trilhos, onde há o primeiro contato entre trilho e roda. São visivelmente detectáveis e entre esses defeitos, destacam-se: esmagamento e sulco no boleto, fissuração no canto da bitola (figura 28), escamação do boleto, despedaçamento do canto da bitola, entre outros;

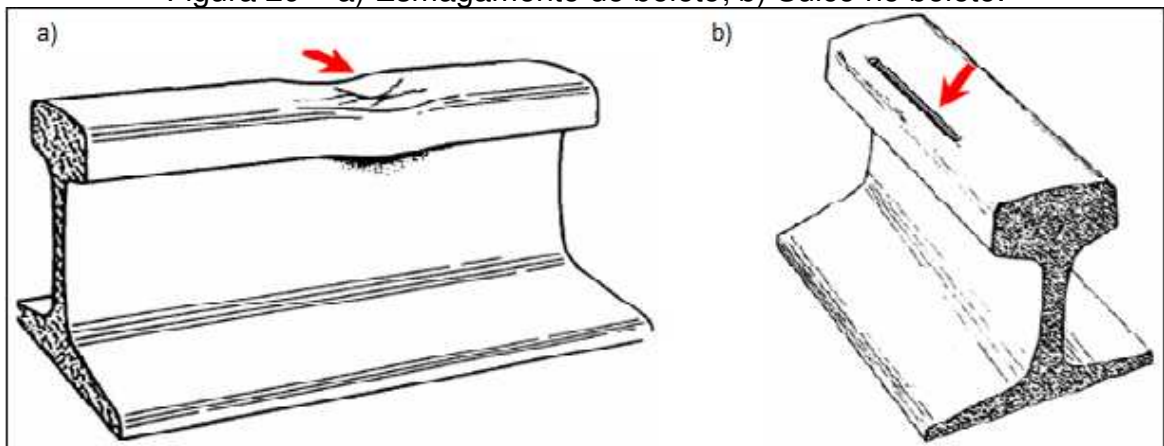


Figura 28 - Fissuração no canto da bitola.



Fonte: Semprebone (2005).

Figura 29 – a) Esmagamento de boleto; b) Sulco no boleto.



Fonte: Coimbra (2008).

- Desgaste: Provenientes da solicitação durante o uso do material, exposto em contato com o material rodante. Geralmente acomete a parte superior dos trilhos, o boleto. São divididos em desgaste lateral, vertical anormal e ondulatório;

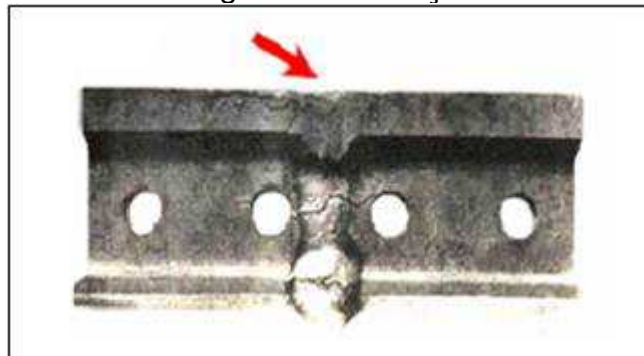
Figura 30 - Desgaste ondulatório.



Fonte: Rodrigues (2012 apud OLIVEIRA, 2018, p. 55).

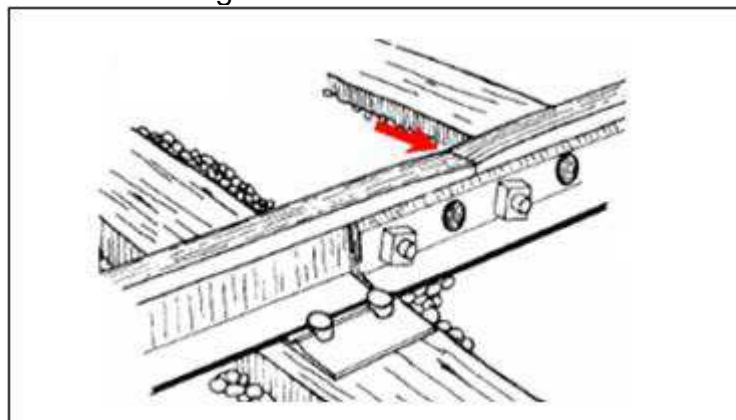
- Defeitos nas soldas e juntas: Defeitos que acometem as soldas e juntas dos trilhos ferroviários. Os mais comuns são o caroço (figura 31) e canoa, caracterizados por serem pontos de elevação ou depressão provenientes do processo de fusão dos trilhos e que podem gerar corrugações, trincas e amassamentos. Outro defeito comum é o martelamento (figura 32), mais comum em junções mecânicas e em talas parafusadas, é causado pelo choque do material rodante na região de folga deixada para a dilatação do trilho e que pode causar escoamento do aço além de um desnivelamento das juntas.

Figura 31 - Caroço.



Fonte: Steffler (2007 apud COIMBRA, 2008, p. 88).

Figura 32 – Martelamento.



Fonte: TM-5-628 (1991 apud COIMBRA, 2008, p. 89).

#### 4.5.2.2 Defeitos nos acessórios de fixação

Os desgastes comuns aos acessórios de fixação estão basicamente ligados à sua condição de uso, oriundo dos grandes esforços, tanto verticais quanto horizontais, sofridos pelos grampos de linha, tirefões, talas, retensores e etc. Outro

fator que interfere para o aparecimento de defeitos nesses itens, são os agentes externos, através de elementos naturais, como a oxidação.

#### 4.5.2.3 Defeitos nos dormentes

Para Coimbra (2008, p. 93) “as anomalias apresentadas nos dormentes são aquelas originadas naturalmente pelo seu uso em serviço e pela ação do meio ambiente”.

Ao realizar inspeções nos dormentes, os principais aspectos que devem ser analisados são: a sua condição, avaliando os estados em que se encontram, a sua posição, verificando possíveis desenquadramentos ou espaçamentos irregulares e as inserções das fixações, buscando afrouxamentos, fixações ausentes ou quebradas, entre outros (Nabais, 2014).

A Vale (2009) classifica e explica os defeitos baseados em cada tipo de material usado para os dormentes:

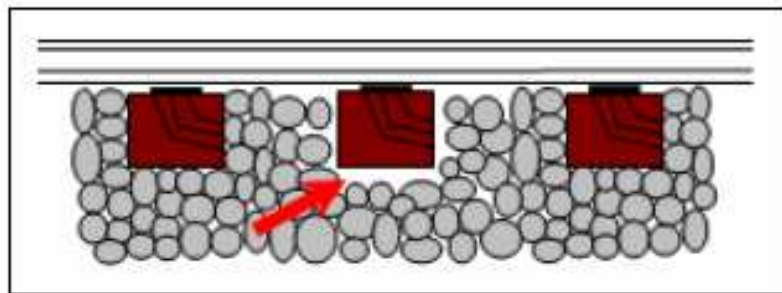
- Dormentes de madeira: Estão suscetíveis ao apodrecimento por intempéries naturais, podem apresentar defeitos até mesmo por um armazenamento inadequado. Têm sua capacidade de fixação reduzida por degradações ou furações em excesso, que resultam em trincas e fissuras e podem apresentar empenos nas áreas de AMVs;
- Dormentes de aço: Passíveis de corrosão por meios naturais, além de apresentarem deformações longitudinais que desregulam a bitola da via. Podem apresentar fraturas ou rupturas nas seções transversais, principalmente em regiões de ligação;
- Dormentes de concreto: No caso de dormentes monobloco, as patologias mais comuns são as trincas e fraturas das regiões transversais ou nas fixações, que causam uma perda de resistência e estabilidade. Para dormentes bi-bloco, além das fraturas nos blocos de concreto, podem ser observadas fraturas no perfil metálico de ligação entre eles, que comprometem da mesma forma a sua colocação e desempenho.

#### 4.5.2.4 Defeitos no lastro

Os defeitos constatados no lastro, geralmente são oriundos de ações naturais e impurezas, carregadas pelas intempéries ou até mesmo por resíduos da operação ferroviária que, durante o deslocamento, acabam se depositando no lastro, caracterizando o defeito conhecido como colmatção (COIMBRA, 2008).

Os mais comuns se dão pela formação de bolsões de lama ou até mesmo pelo crescimento de vegetações nas áreas adjacentes, que diminui o fluxo natural de drenagem além de gerarem a formação de vazios no lastro ferroviário (COIMBRA, 2008).

Figura 33 - Formação de vazios no lastro.



Fonte: Coimbra (2008).

## 4.6 Manutenção de pavimentos ferroviários

Durante a operação de uma ferrovia, é natural que os esforços e solicitações provenientes do tráfego ocasionem desgastes no pavimento, que dentro de um certo limite, são toleráveis pelos padrões de qualidade e segurança da via. Porém, quando esse parâmetro é excedido, faz-se necessário a adoção de medidas que minimizem as possíveis ocorrências, justificando assim, a necessidade de manutenções e correções (AMARAL, 1994 apud OLIVEIRA, 2018, p. 60).

A manutenção pode ser conceituada como um segmento da engenharia que tem como finalidade a obtenção prolongada de condições plenas de funcionamento de um determinado bem ou produto, ou seja, tem seu foco voltado para preservação e conservação de máquinas, equipamentos, instalações e edificações visando evitar possíveis paralisações operacionais causadas por falhas (MOUBRAY, 2000 apud DENARDI, 2018, p. 06).

De modo semelhante, a ABNT NBR 5462/1994 define a manutenção como o “combinado de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Existem diversos tipos de manutenção que podem ser classificadas de acordo com a sua finalidade e natureza. Segundo Cordeiro, Guimarães e Marques (2015) as principais são:

- Preventiva: Visa anteceder e reduzir as probabilidades de panes, ou de degradação dos itens em questão. É realizada de forma antecipada e é intervaladamente predeterminada;
- Corretiva: Tipo de manutenção realizado somente após a quebra ou falha de um determinado item, com a finalidade de lhe reestabelecer condições para a execução do serviço;
- Preditiva: Traz consigo a garantia na qualidade do serviço executado mediante aplicabilidade de sistemas técnicos de análise, amostragem e supervisionamento centralizado com objetivo de redução considerável das manutenções preventivas e corretivas.

A escolha e o planejamento de qualquer tipo de manutenção só pode ser realizado a partir de um levantamento de dados que sirvam de base para tomada de decisões estratégicas. Para que o pavimento ferroviário seja mantido em condições adequadas, faz-se necessário a implantação de técnicas que possibilitem a apuração das patologias e forneçam os parâmetros necessários para a análise. Diante disso, as concessionárias adotaram os métodos de inspeção de vias, que suprem essa necessidade operacional (RODRIGUES, 2012 apud OLIVEIRA, 2018, p. 60).

São conhecidas diversas técnicas de inspeção, que apresentam características próprias, e no geral tem como base os padrões estabelecidos pelas normas da ABNT, como por exemplo as NBR's 7640/2012, 12511/2012 e outras (CÂMARA, 2018).

Dentre os diversos tipos de inspeção, Rodrigues (2012 apud Oliveira, 2018, p. 62) destaca como principais tipos:

- Inspeções a pé: são realizadas por caminharmento através de um levantamento visual das patologias e conseguem obter avaliar alguns aspectos relativos à geometria da via e verificar os estados de conservação dos componentes da superestrutura;
- Inspeções por maquinários: realizadas através de maquinários como carro-controle, e geralmente estão relacionados à defeitos geométricos ou outros aspectos internos da via que não são detectados visualmente.

A presença de defeitos que influenciam na operação ferroviária é um grande empecilho para a viabilidade econômica da ferrovia. A redução ou paralisação do tráfego ferroviário gera um imenso prejuízo, pois os custos referentes à manutenção corretiva são sempre mais elevados do que a preventiva, além do prejuízo financeiro relacionado à falta de escoamento e transporte da produção, seja de materiais ou de pessoas (VALE, 2009). Diante disso, fica evidente, a necessidade da utilização de sistemas de gerenciamento do pavimento ferroviário.

#### **4.7 Avaliação de pavimentos em sistema de gerência**

Um sistema de gerência de pavimentos (SGP) envolve todos os processos de administração de um pavimento durante sua vida útil, que incluem o planejamento dos investimentos, projeto, construção e manutenção de um pavimento, bem como seu posterior acompanhamento e avaliação de desempenho na operação. Tem como principal objetivo, comparar as melhores alternativas para funcionamento, coordenar atividades, além de auxiliar na tomada de decisões estratégicas, visando eficiência e economia (ROADS AND TRANSPORTATION ASSOCIATION OF CANADA, 1977 apud RIBEIRO, 2017, p. 40).

A classificação de um SGP pode ser dada em nível de rede ou em nível de projeto, dependendo da finalidade à que se destina o estudo e quais os resultados são almejados por ele (ILDEFONSO, 2013).

O nível de rede, trata de uma situação macro, com o enfoque na malha viária como um todo, visando intervenções em situações pontuais e prioritárias que comprometem a operação global, com a otimização da utilização dos recursos (HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI, 1994 apud MARTINS, 2015, p. 09).

As ações tomadas através da gerência em nível de rede, devem trazer consigo informações pertinentes, que deverão ser analisadas a partir de um critério de priorização, ajudando na disponibilização de recurso, ou seja, trata de uma questão institucional (AASHTO, 1990 apud MARTINS, 2015, p. 10).

Já o nível de projeto, traz o foco para um trabalho mais minucioso, com informações detalhadas e segmentadas por seções da malha viária, de acordo com as priorizações devidamente consideradas. Geralmente é composta por relatórios e diagnósticos mais precisos dos defeitos. Cabe à gerência em nível de projeto, um planejamento mais eficaz e programado, com manutenções, reabilitações e reconstruções bem definidas e caracterizadas, parâmetros e avaliações consistentes e especificações de materiais bem estabelecidas (ILDEFONSO, 2013).

Segundo Fonseca (1998, apud MUNIZ DA SILVA, 2002, p. 144) “os dados representam um componente crítico em um sistema de gerência, sem dados não há análise nem suporte para decisões”.

Analisando o parâmetro nacional, percebe-se o Brasil carece de investimentos no setor ferroviário. As concessionárias que operam no país, desenvolvem seus próprios parâmetros avaliativos, muitas vezes baseadas nas literaturas internacionais (MUNIZ DA SILVA, 2002).

Mesmo sendo o segundo maior modal de transporte em escoamento de carga, as ferrovias seguem bem atrasadas se comparadas com as rodovias, que apresentam diversas normas regulamentadoras e métodos de avaliação de via. Alguns desses procedimentos do pavimento rodoviário podem ser adaptados e utilizados para caracterização ferroviária, principalmente os de carácter subjetivo, como por exemplo o DNIT – PRO 006/2003, PRO 007/2003, PRO 008/2003, PRO 009/2003, bem como a utilização de parâmetros também estabelecidos para rodovia, como o Índice de Condição do Pavimento – ICP (ILDEFONSO, 2013).

#### 4.7.1 Avaliação das condições do pavimento

A etapa de avaliação de pavimentos pode ser considerada como uma das principais fases de um sistema de gerência de pavimentos, já que é nela que são verificados fatores como a necessidade de manutenções, reconstruções e se ele

segue desempenhando de forma eficiente as funções às quais foi projetado (HAAS e HUDSON, 1978 apud DANIELESKI, 2004, p. 10).

Ao analisar um pavimento, podem ser levados em consideração alguns aspectos básicos de avaliação, como: conforto de rodagem, conforto visual, capacidade de suporte de cargas e segurança. De maneira generalizada, um pavimento pode ser considerado satisfatório ou ótimo quando atende de maneira positiva, todos os requisitos citados (DANIELESKI, 2004).

Existem diversos métodos de avaliação de pavimentos ferroviários, entre eles, pode-se citar o método proposto pela Canadian National Railway (CN) que utiliza o conceito de seção homogênea, baseado no modelo formulado para rodovias, para fazer a análise ferroviária. Os dados são obtidos pela análise separada de trilhos, dormentes e outras irregularidades que são confrontados com dados geométricos coletados via carro controle (MUNIZ DA SILVA, 2002).

A Netherlands Railways desenvolveu o BINCO, que é um sistema de informações e controle de manutenção baseado na distribuição por seções. Leva em consideração fatores geométricos da via, defeitos apresentados em trilhos e histórico de manutenção e custos (RIBEIRO, 2017).

Outro exemplo de sistema de gerência é o Railroad Maintenance System (RAILER) elaborado pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (U.S Army Construction Engineering Research Laboratory – USACERL), que utiliza um índice próprio para avaliação de classificação das condições da via, e a severidade dos defeitos constatados, por meio de programações lineares e cálculos de viabilidade econômica, com análises de custo-benefício (RIBEIRO, 2017).

Para Ildefonso (2013) “a qualidade de um sistema de gerência de pavimentos está diretamente ligada à quantidade e qualidade de dados coletados da via”. Ainda segundo o autor, esses dados podem ser obtidos através de avaliações, que podem ser desenvolvidas de maneira objetiva ou subjetiva.

O modal ferroviário, após todos os investimentos dos últimos anos, apresentou um crescimento significativo, porém não o suficiente para se equiparar com o modal rodoviário. Essa diferença é nítida em todos os aspectos, principalmente no segmento de informações. Atualmente, no Brasil, não existem quaisquer métodos



ou normas regulamentadoras que avaliam ou estabelecem parâmetros para embasar e nortear a avaliação do pavimento ferroviário, uma realidade totalmente diferente dos países mais desenvolvidos (MENDES, 2018).

No segmento rodoviário, existem diversos métodos que estabelecem parâmetros e formas de avaliação, para garantir a viabilidade do modal, proporcionando melhores condições para a camada de rodagem, com segurança, qualidade e conforto. Diante disso, tornou-se comum, principalmente para fins de pesquisa, a adaptação dos métodos rodoviários para as ferrovias, devido a semelhança dos modais em alguns segmentos (ILDEFONSO, 2013).

#### 4.7.1.1 Avaliação objetiva

De acordo com Schiavon e Manzoli (2017) a avaliação objetiva “compreende no levantamento dos defeitos superficiais do pavimento, ou seja, avalia a condição da superfície da via, e, atribuindo a estes defeitos valores numéricos, é possível que se classifique o estado geral da superfície do pavimento”.

Danieleski (2004) diz que a avaliação por meios objetivos “destina-se a conhecer quantitativamente o tipo de degradação superficial que o pavimento apresenta, a fim de possibilitar a identificação da melhor técnica para a sua reabilitação”.

Na avaliação objetiva, mais focada em índices e números é mais comum que a sua inspeção seja realizada com o auxílio de equipamentos e maquinários para medição (ILDEFONSO, 2013).

No Brasil, não há procedimento normatizado para este tipo de avaliação em ferrovias, como existem para os pavimentos rodoviários, onde o procedimento DNIT PRO 006/2013, é a norma para avaliação objetiva aplicado a rodovias. Ele é utilizado quando se deseja estabelecer um parâmetro que defina as condições da superfície do pavimento além de gerar um inventário que quantifique as patologias encontradas.

O parâmetro estabelecido é chamado de Índice Global de Gravidade (IGG) e pode ser determinado através da mensuração da frequência de cada tipo de defeito

no pavimento, coletada *in loco* de maneira visual com auxílio de alguns equipamentos, como trenas, trelças, giz e etc.

O conceito de frequência, utilizado pelo método rodoviário, está diretamente ligado ao de densidade, adotado por este trabalho. Essa medição consiste em catalogar e quantificar todos os defeitos presentes no pavimento, com o objetivo de mensurar a qualidade da via.

De maneira análoga, a densidade também será calculada através da contagem de patologias, porém difere da frequência pois é feita a partir de uma relação dada por:

$$D = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de itens afetados}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de itens}}$$

Para facilitar a compreensão, a expressão pode ser exemplificada por uma análise no grupo dos dormentes, onde se deseja calcular a densidade de ausência de dormentes. Nesse caso, ela pode ser dada por:

$$D = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de dormentes ausentes}}{\text{N}^{\circ} \text{ de dormentes totais}}$$

Vale ressaltar que essa relação se estende também aos demais itens da superestrutura ferroviária.

#### 4.7.1.2 Avaliação subjetiva

Antes de conceituar esse tipo de avaliação, é necessário entender o conceito de serventia, que de acordo com o DNIT (2003) é dado pela “capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego”.

De acordo com Haas e Hudson (1978 apud DANIELESKI, 2004, p. 14) “a serventia de um pavimento está relacionada ao propósito para o qual o pavimento foi construído, que é proporcionar um rolamento suave, confortável e seguro”.

Em definição simples, pode ser definida como a capacidade de um pavimento de se adequar às condições de funcionamento (MUNIZ DA SILVA, 2002).

A avaliação subjetiva está diretamente ligada à serventia e sua inspeção é realizada por um grupo de avaliadores que atribuem notas para os elementos da via, baseados em observações coletadas visualmente (ILDEFONSO, 2013).

Danieleski (2004) reforça dizendo que a avaliação subjetiva é indicada para se ter uma informação qualitativa sobre a superfície do pavimento.

Para o pavimento rodoviário, a avaliação de caráter subjetiva é regulamentada através do procedimento DNIT PRO 009/2013. Esse método está relacionado à determinação do Valor de Serventia Atual (VSA) de um pavimento através de uma metodologia de análise subjetiva. Na prática, a execução do método de análise deverá ser feita a partir da atribuição de um grupo de avaliadores, composto por pelo menos cinco pessoas, conhecedoras do propósito da norma. O pavimento rodoviário em questão deve ser percorrido a bordo de um veículo de médio padrão ou por caminhamento, e ao final, os avaliadores deverão atribuir uma nota baseada no conforto e no conceito de serventia daquele trecho.

O método de avaliação proposto, leva em consideração o conceito de severidade, em que as notas serão dadas de acordo com a proporção dos defeitos, levando em consideração o risco que ele representa para a operação ferroviária. Durante a avaliação, é importante que os avaliadores tenham conhecimento dos principais defeitos para que a análise seja mais assertiva e consiga transmitir com maior veracidade as reais condições da via, resultando na tomada de medidas mais efetivas.

Já para o pavimento ferroviário, não existem métodos de avaliação subjetiva no Brasil, regulamentados ou definidos como no rodoviário. Ildefonso (2013) demonstra em sua tese, a viabilidade da utilização de adaptações dos métodos rodoviários para o ferroviário, visto que os dois consistem em vias de rodagem com funcionamentos e finalidades semelhantes.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 Metodologia

A metodologia do presente trabalho foi realizada a partir de um estudo de caso aplicado a um ramal ferroviário, e pelas características, pode ser considerado uma ferrovia de carga leve. O desenvolvimento da pesquisa foi segmentado em basicamente três etapas:

- Revisão bibliográfica e análise de dados presentes em literaturas da área (as consultas foram estendidas a livros, artigos, teses e dissertações de áreas afins, normas regulamentadoras e anuários);
- Levantamento e coleta de dados *in loco*;
- Análise e interpretação dos dados coletados.

Vale ressaltar que, este trabalho buscou realizar análises tanto quantitativa quanto qualitativa, por meio da interpretação dos dados através de métodos de avaliação. A avaliação consiste em determinar as condições atuais da superestrutura de uma ferrovia de transporte de carga leve e definir a qualidade da via, bem como verificar se tais condições são suficientes para atender a todos os requisitos básicos para que se tenha uma operação satisfatória.

### 5.2 Delimitação da área de estudo

A pesquisa utilizou como amostra para inspeção, um trecho de 500m de extensão ferroviária localizada no povoado de Perises, município de Bacabeira. O acesso a esse trecho foi obtido aproximadamente no km 45 da BR – 135.

A via férrea em questão é considerada um ramal da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Essa via auxiliar dá acesso direto à pedreira Granorte e fábrica de dormente, que fornece para a companhia insumos para serviços de construção e manutenção de trechos ferroviários.

O objetivo dessa via é baratear o custo de transporte de matéria prima para a companhia, já que operacionalmente seria mais viável utilizar seu próprio meio de

transporte. Por esta via trafega diariamente apenas uma composição ferroviária, seja para transporte de brita ou dormentes em vagões do tipo PES ou HNT, à uma velocidade operacional média de aproximadamente 10 km/h.

A partir da inspeção, foi possível coletar características e especificações técnicas do trecho analisado. A via é do tipo bitola larga, com trilhos modelo TR – 68. Em praticamente toda extensão analisada, a dormentação é em madeira, com exceção em dois subtrechos em que foram constatadas a presença de alguns dormentes de aço. As fixações observadas foram variadas, com a presença tirefões, como exemplo de fixações rígidas. Para as fixações elásticas, foi adotada em maior parte, a utilização de fixações do tipo Pandrol, intercaladas com algumas fixações do tipo Deenik. Vale ressaltar, que os dados aqui dispostos, referem-se a amostragem do trecho analisado da via.

A imagem a seguir, extraída do modo satélite do Google Maps, retrata o trecho em tangente objeto do estudo.

Figura 34 - Trecho ferroviário analisado.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

### 5.3 Métodos e Procedimentos

No presente trabalho, tornou-se mais viável a aplicação e adaptação de alguns índices propostos pelos métodos DNIT PRO 006/2013 e DNIT PRO 009/2013, por não existir uma norma brasileira para avaliação da superestrutura de pavimentos ferroviários, além de métodos internacionais. Logo, para a realização das inspeções, foi necessário a adaptação de alguns desses parâmetros citados, buscando viabilizar a análise na via férrea.

Primeiramente, destaca-se a utilização do parâmetro do VSA, proposto pelo método DNIT PRO 009/2013, e que foi adaptado para este trabalho com a finalidade de executar uma análise subjetiva em função do nível de severidade. Durante a inspeção, o segmento analisado apresentava uma extensão total de 500m e foi subdividido em dez trechos de 50m cada. O percurso e a análise de cada trecho foram feitos por caminhamento em que um grupo composto por 5 (cinco) avaliadores (figura 35) estabeleceu notas, para cada trecho, baseadas nas condições da via, verificadas de maneira visual.

Figura 35 - Avaliadores realizando inspeção.



Fonte: Autor (2019).

Enquanto, para a avaliação objetiva, foi realizada uma adaptação do método DNIT PRO 006/2013, em que foi extraído o conceito de determinação da frequência de ocorrência das patologias, uma equivalência a densidade de métodos internacionais. Para este trabalho, quantificou-se as patologias detectadas nos grupos analisados, com a finalidade de determinar um parâmetro de densidade dos defeitos que pudesse servir de comparação com os resultados obtidos na avaliação subjetiva.

A constatação quantitativa dos defeitos, foi realizada de modo semelhante ao outro tipo de avaliação, com as patologias sendo comprovadas trecho a trecho, nos dez trechos analisados.

Vale ressaltar, que essas adaptações foram feitas para proporcionar uma maior confiabilidade dos resultados, além de tornar a realização da pesquisa *in loco* mais viável.

Durante a avaliação proposta por este trabalho, os avaliadores de campo tinham em sua posse um formulário para a determinação da avaliação subjetiva. Nesse documento, constavam algumas explicações a respeito das patologias ferroviárias bem como os seus níveis de severidade, com a finalidade de nortear as avaliações e torna-las mais precisas. Para isso foram estabelecidos alguns parâmetros relacionados à concepção de qualidade de via. A classificação da gravidade dos defeitos adotada, foi baseada na pesquisa de Ildefonso (2013), onde o autor define os níveis de severidade em:

- Baixo: Defeitos de tamanho menor e que não apresentem interferências na operação da via. A solução adotada pode ser considerada como uma manutenção de rotina agendada após a análise e constatação da patologia;
- Médio: Tipos de defeitos de proporções não tão grandes, porém podem acarretar em restrições operacionais. A intervenção deverá ser agendada após a análise;
- Alto: Patologias que certamente acarretam em restrições operacionais e as manutenções devem ser realizadas logo em seguida, a fim de remover as restrições;
- Muito alto: Defeitos que suspendem ou causam graves restrições e geralmente podem estar relacionados à acidentes de grandes proporções. As manutenções também devem ser executadas como prioridade, para que não comprometa a eficiência das operações.

Os defeitos a serem analisados foram previamente determinados, com base nas patologias mais frequentes e comuns em ferrovias. Para melhorar a análise, a avaliação foi feita individualmente por elemento e as patologias consideradas foram

especificadas nos subitens a seguir, a partir de adaptações do modelo proposto por Ildefonso (2013).

### 5.3.1 Patologias no lastro

Esse item o lastro foi considerado como defeituoso ou carente de manutenção caso fosse constatado o(s) seguinte(s) defeito(s):

- Colmatado.

### 5.3.2 Patologias nos dormentes

Nos dormentes foram consideradas patologias para os seguintes aspectos:

- Mau estado de conservação (fissurado, trincado, apodrecido e etc.);
- Mal posicionado (desenquadramento ou deslocado);
- Dormentes ausentes.

### 5.3.3 Patologias nos trilhos

Para os trilhos foram considerados os seguintes segmentos a serem analisados:

- Desgastado;
- Irregularidades no trilho (boleto, alma ou patim);
- Trincado (no bolete, alma ou patim);
- Trincas nos furos das juntas.

### 5.3.4 Patologias nos acessórios

A delimitação dos defeitos foi dividida para fixações e ligações.

#### 5.3.4.1 Fixações

- Pregos ou tirefões ausentes;
- Placas de apoio quebradas ou ausentes.



#### 5.3.4.2 Ligações

- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- Talas de junção (trincada ou ausentes);
- Parafusos faltando.

#### 5.4 Materiais e/ou equipamentos

Para a execução da avaliação proposta no trabalho, foram utilizados alguns materiais de apoio, que serviram para auxiliar os levantamentos e demarcações durante a inspeção da via férrea. São eles:

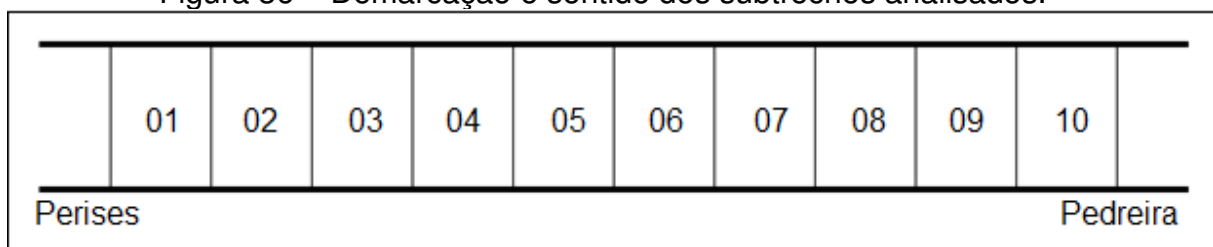
- Trena de 50m;
- Giz;
- Formulário.

#### 5.5 Inspeção de Campo

A inspeção foi realizada por um grupo composto de cinco avaliadores que estabeleceram notas entre 0 a 100 para os itens avaliados, relativos aos componentes da superestrutura da via, como lastro, trilhos, dormentes e fixações.

O trecho selecionado de 500m foi percorrido por caminhada. Para tornar a análise mais viável, esse trecho foi dividido em subtrechos que apresentavam 50m de extensão, e para isso foi utilizado uma trena que auxiliou na realização da medição das estacas.

Figura 36 – Demarcação e sentido dos subtrechos analisados.



Fonte: Autor (2019).

A demarcação dos subtrechos (figura 36) foi realizada com a utilização de giz e feita na superfície dos trilhos. Inicialmente, todos os avaliadores analisavam visualmente todos os componentes da superestrutura de cada subtrecho e logo após o seu fim, atribuíam uma nota relacionada à conservação e serventia dos elementos. Para isso, foi elaborado e disponibilizado a todos os avaliadores um formulário (ver APÊNDICE A) que especificava todas os grupos a serem avaliados.

Figura 37 - Exemplo de demarcação dos trechos.



Fonte: Autor (2019).

Após todos os subtrechos terem sido percorridos e as notas serem estabelecidas, repetiu-se o percurso realizando levantamento e contagem dos defeitos apresentados, com a finalidade de estabelecer um parâmetro que servisse de comparação com a avaliações subjetiva. A ordem das medições foi definida estrategicamente, para que a contagem das patologias não influenciasse nas notas estabelecidas pelos avaliadores.

## 5.6 Resultados e discussões

Após a avaliação de todos os subtrechos, os resultados obtidos foram separados, também por subtrecho, e especificados de maneira resumida em tabelas que demonstram as notas e os parâmetros encontrados.

### 5.6.1 Avaliação subjetiva

Na avaliação subjetiva, o parâmetro (VSA) foi estabelecido para cada subtrecho, calculado individualmente por componente de superestrutura. O valor obtido foi o resultado do somatório de todas as notas do grupo analisado dividido por cinco (quantidade de notas/avaliadores). As tabelas de resultados das avaliações subjetivas estão demonstradas a seguir:

Tabela 3 - Notas subtrecho 01.

| <b>SUBTRECHO 01 (0 a 50m)</b>    |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 85            | 80            | 80            | 80            | 80            | 81         |
| Trincas na superfície            | 80            | 80            | 70            | 80            | 94            | 80,8       |
| Trincas na furação               | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação dos dormentes        | 50            | 20            | 40            | 50            | 30            | 38         |
| Posicionamento dos dormentes     | 70            | 80            | 80            | 50            | 25            | 61         |
| Ausência dos dormentes           | 70            | 90            | 90            | 70            | 95            | 83         |
| Conservação das juntas           | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das talas de junção  | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Fixação das talas de junção      | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das placas de apoio  | 70            | 50            | 50            | 70            | 90            | 66         |
| Fixação das placas de apoio      | 50            | 50            | 40            | 70            | 80            | 58         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 40            | 10            | 10            | 50            | 20            | 26         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 4 - Notas subtrecho 02.

| <b>SUBTRECHO 02 (50 a 100m)</b>  |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 85            | 80            | 70            | 80            | 85            | 80         |
| Trincas na superfície            | 85            | 80            | 100           | 90            | 99            | 90,8       |
| Trincas na furação               | 90            | 80            | 90            | 90            | 100           | 90         |
| Conservação dos dormentes        | 50            | 40            | 10            | 30            | 30            | 32         |
| Posicionamento dos dormentes     | 70            | 50            | 70            | 50            | 80            | 64         |
| Ausência dos dormentes           | 65            | 70            | 90            | 60            | 95            | 76         |
| Conservação das juntas           | 55            | 80            | 60            | 60            | 90            | 69         |
| Conservação das talas de junção  | 70            | 80            | 70            | 80            | 99            | 79,8       |
| Fixação das talas de junção      | 75            | 50            | 90            | 80            | 95            | 78         |
| Conservação das placas de apoio  | 75            | 60            | 60            | 80            | 90            | 73         |
| Fixação das placas de apoio      | 60            | 60            | 30            | 80            | 83            | 62,6       |
| Colmatação do lastro ferroviário | 55            | 40            | 20            | 30            | 40            | 37         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 5 - Notas subtrecho 03.

| <b>SUBTRECHO 03 (100 a 150m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 85            | 80            | 80            | 80            | 82            | 81,4       |
| Trincas na superfície            | 85            | 80            | 90            | 90            | 94            | 87,8       |
| Trincas na furação               | 85            | 80            | 90            | 100           | 100           | 91         |
| Conservação dos dormentes        | 50            | 40            | 10            | 40            | 33            | 34,6       |
| Posicionamento dos dormentes     | 70            | 50            | 80            | 30            | 85            | 63         |
| Ausência dos dormentes           | 60            | 80            | 70            | 60            | 100           | 74         |
| Conservação das juntas           | 80            | 80            | 70            | 70            | 100           | 80         |
| Conservação das talas de junção  | 80            | 80            | 70            | 90            | 98            | 83,6       |
| Fixação das talas de junção      | 80            | 50            | 90            | 90            | 100           | 82         |
| Conservação das placas de apoio  | 70            | 50            | 60            | 90            | 87            | 71,4       |
| Fixação das placas de apoio      | 75            | 50            | 10            | 40            | 80            | 51         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 50            | 50            | 40            | 20            | 43            | 40,6       |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 6 - Notas subtrecho 04.

| <b>SUBTRECHO 04 (150 a 200m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 90            | 80            | 80            | 80            | 78            | 81,6       |
| Trincas na superfície            | 85            | 80            | 90            | 70            | 95            | 84         |
| Trincas na furação               | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação dos dormentes        | 50            | 40            | 20            | 50            | 30            | 38         |
| Posicionamento dos dormentes     | 90            | 60            | 90            | 50            | 80            | 74         |
| Ausência dos dormentes           | 90            | 90            | 100           | 70            | 100           | 90         |
| Conservação das juntas           | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das talas de junção  | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Fixação das talas de junção      | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das placas de apoio  | 85            | 60            | 60            | 70            | 88            | 72,6       |
| Fixação das placas de apoio      | 85            | 50            | 10            | 60            | 80            | 57         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 45            | 30            | 30            | 50            | 43            | 39,6       |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 7 - Notas subtrecho 05.

| <b>SUBTRECHO 05 (200 a 250m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 90            | 80            | 70            | 90            | 80            | 82         |
| Trincas na superfície            | 85            | 80            | 70            | 90            | 95            | 84         |
| Trincas na furação               | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação dos dormentes        | 40            | 20            | 10            | 60            | 35            | 33         |
| Posicionamento dos dormentes     | 100           | 50            | 80            | 80            | 80            | 78         |
| Ausência dos dormentes           | 100           | 90            | 90            | 80            | 100           | 92         |
| Conservação das juntas           | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das talas de junção  | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Fixação das talas de junção      | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das placas de apoio  | 85            | 80            | 40            | 70            | 85            | 72         |
| Fixação das placas de apoio      | 80            | 80            | 10            | 60            | 75            | 61         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 60            | 60            | 40            | 40            | 40            | 48         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 8 - Notas subtrecho 06.

| <b>SUBTRECHO 06 (250 a 300m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 90            | 80            | 80            | 80            | 75            | 81         |
| Trincas na superfície            | 85            | 80            | 90            | 90            | 95            | 88         |
| Trincas na furação               | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação dos dormentes        | 65            | 20            | 20            | 80            | 45            | 46         |
| Posicionamento dos dormentes     | 95            | 50            | 90            | 60            | 83            | 75,6       |
| Ausência dos dormentes           | 100           | 80            | 100           | 80            | 100           | 92         |
| Conservação das juntas           | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das talas de junção  | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Fixação das talas de junção      | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das placas de apoio  | 85            | 80            | 40            | 90            | 90            | 77         |
| Fixação das placas de apoio      | 75            | 40            | 20            | 60            | 70            | 53         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 55            | 50            | 40            | 60            | 35            | 48         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 - Notas subtrecho 07.

| <b>SUBTRECHO 7 (300 a 350m)</b>  |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 90            | 80            | 80            | 80            | 90            | 84         |
| Trincas na superfície            | 80            | 80            | 80            | 100           | 100           | 88         |
| Trincas na furação               | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação dos dormentes        | 60            | 20            | 20            | 70            | 50            | 44         |
| Posicionamento dos dormentes     | 100           | 50            | 90            | 90            | 85            | 83         |
| Ausência dos dormentes           | 100           | 80            | 90            | 100           | 100           | 94         |
| Conservação das juntas           | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das talas de junção  | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Fixação das talas de junção      | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das placas de apoio  | 85            | 70            | 50            | 100           | 85            | 78         |
| Fixação das placas de apoio      | 85            | 40            | 20            | 100           | 78            | 64,6       |
| Colmatação do lastro ferroviário | 50            | 30            | 40            | 30            | 40            | 38         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 10 - Notas do subtrecho 08.

| <b>SUBTRECHO 08 (350 a 400m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 85            | 85            | 80            | 90            | 90            | 86         |
| Trincas na superfície            | 80            | 80            | 80            | 90            | 95            | 85         |
| Trincas na furação               | 100           | 80            | 90            | 90            | 100           | 92         |
| Conservação dos dormentes        | 25            | 20            | 50            | 20            | 25            | 28         |
| Posicionamento dos dormentes     | 80            | 50            | 90            | 60            | 30            | 62         |
| Ausência dos dormentes           | 80            | 80            | 90            | 70            | 100           | 84         |
| Conservação das juntas           | 35            | 80            | 70            | 90            | 50            | 65         |
| Conservação das talas de junção  | 80            | 80            | 90            | 90            | 80            | 84         |
| Fixação das talas de junção      | 35            | 80            | 90            | 90            | 80            | 75         |
| Conservação das placas de apoio  | 65            | 70            | 20            | 80            | 90            | 65         |
| Fixação das placas de apoio      | 50            | 30            | 0             | 50            | 80            | 42         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 85            | 30            | 60            | 90            | 25            | 58         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 11 – Notas subtrecho 09.

| <b>SUBTRECHO 09 (400 a 450m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 90            | 80            | 90            | 80            | 85            | 85         |
| Trincas na superfície            | 85            | 80            | 80            | 90            | 90            | 85         |
| Trincas na furação               | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação dos dormentes        | 30            | 50            | 50            | 40            | 50            | 44         |
| Posicionamento dos dormentes     | 90            | 50            | 70            | 60            | 75            | 69         |
| Ausência dos dormentes           | 100           | 100           | 90            | 80            | 100           | 94         |
| Conservação das juntas           | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das talas de junção  | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Fixação das talas de junção      | -             | -             | -             | -             | -             | -          |
| Conservação das placas de apoio  | 60            | 70            | 40            | 60            | 80            | 62         |
| Fixação das placas de apoio      | 55            | 70            | 30            | 60            | 70            | 57         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 80            | 60            | 60            | 80            | 45            | 65         |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 12 - Notas subtrecho 10.

| <b>SUBTRECHO 10 (450 a 500m)</b> |               |               |               |               |               |            |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>ITEM AVALIADO</b>             | <b>AV. 01</b> | <b>AV. 02</b> | <b>AV. 03</b> | <b>AV. 04</b> | <b>AV. 05</b> | <b>VSA</b> |
| Conservação dos trilhos          | 85            | 80            | 80            | 80            | 80            | 81         |
| Trincas na superfície            | 80            | 80            | 90            | 80            | 86            | 83,2       |
| Trincas na furação               | 80            | 80            | 90            | 100           | 100           | 90         |
| Conservação dos dormentes        | 25            | 50            | 30            | 50            | 48            | 40,6       |
| Posicionamento dos dormentes     | 90            | 50            | 80            | 90            | 70            | 76         |
| Ausência dos dormentes           | 95            | 100           | 90            | 90            | 100           | 95         |
| Conservação das juntas           | 75            | 70            | 80            | 90            | 65            | 76         |
| Conservação das talas de junção  | 80            | 70            | 60            | 100           | 85            | 79         |
| Fixação das talas de junção      | 40            | 70            | 80            | 100           | 95            | 77         |
| Conservação das placas de apoio  | 55            | 70            | 30            | 70            | 85            | 62         |
| Fixação das placas de apoio      | 50            | 50            | 10            | 70            | 65            | 49         |
| Colmatação do lastro ferroviário | 85            | 70            | 70            | 80            | 40            | 69         |

Fonte: Autor (2019).

### 5.6.2 Avaliação objetiva

Para a avaliação objetiva, o parâmetro deste trabalho foi estabelecido através do cálculo da densidade, que foi calculada de duas maneiras, dependendo do tipo de defeito encontrado.

Caso o tipo de defeito estivesse relacionado à ausência de itens da via, como por exemplo, tirefões e dormentes ausentes (figura 37), a densidade foi calculada a partir da divisão entre a quantidade de itens que estavam faltando pela quantidade total e correta de itens que deveriam ser encontrados. Já para o caso de itens avariados (figuras 38 e 39), a densidade foi obtida através da divisão entre a quantidade de itens com patologias pela quantidade total de itens encontrados na via analisada.



Figura 38 - Ausência de dormentes e tirefões na via.



Fonte: Autor (2019).

Figura 39 - Dormente avariado.



Fonte: Autor (2019).

Figura 40 - Tirefão empenado.



Fonte: Autor (2019).

Na tabela 13 a seguir, foram listados, por subtrecho, os principais defeitos constatados durante a inspeção. Logo em seguida, as tabelas 14 e 15, demonstram os valores de densidades obtidos para cada grupo de componentes da superestrutura ferroviária, também divididos por subtrecho.

Tabela 13 - Defeitos constatados na inspeção.

| Subtrecho | Grupo    | Defeitos encontrados                            |
|-----------|----------|---|
| 1         | Trilho   | Sem defeitos expressivos.                       |
|           | Dormente | Ausência e rachaduras.                          |
|           | Fixações | Ausência de grampos e tirefões.                 |
|           | Lastro   | Colmatação e insuficiência.                     |
| 2         | Trilho   | Defeitos superficiais nas junções.              |
|           | Dormente | Ausência e rachaduras.                          |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação.                                     |
| 3         | Trilho   | Trincas superficiais.                           |
|           | Dormente | Rachaduras, ausências e apodrecimento.          |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação.                                     |
| 4         | Trilho   | Pequenas corrugações no boleto.                 |
|           | Dormente | Ausência e rachaduras.                          |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação e lastro cobrindo as fixações.       |
| 5         | Trilho   | Sem defeitos expressivos.                       |
|           | Dormente | Ausência e rachaduras.                          |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação.                                     |
| 6         | Trilho   | Sem defeitos expressivos.                       |
|           | Dormente | Ausência e rachaduras.                          |
|           | Fixações | Tirefões, placas e grampos ausentes e empenados |
|           | Lastro   | Colmatação.                                     |
| 7         | Trilho   | Pequenas trincas na superfície do boleto.       |
|           | Dormente | Apodrecimento e rachaduras.                     |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação                                      |
| 8         | Trilho   | Defeitos nas junções dos trilhos                |
|           | Dormente | Apodrecimento e rachaduras.                     |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação em menor escala.                     |
| 9         | Trilho   | Sem defeitos expressivos.                       |
|           | Dormente | Ausência e rachaduras.                          |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação em menor escala.                     |
| 10        | Trilho   | Corrugações e defeitos nas junções dos trilhos. |
|           | Dormente | Ausência e apodrecimento.                       |
|           | Fixações | Ausência de placas, grampos e tirefões.         |
|           | Lastro   | Colmatação em menor escala.                     |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 14 – Densidade dos subtrechos 01 a 05.

| DENSIDADE DOS DEFEITOS POR SUBTRECHO |         |         |        |        |         |
|--------------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| ITEM AVALIADO                        | ST 01   | ST 02   | ST 03  | ST 04  | ST 05   |
| QTD NORMAL DE DORMENTES              | 83      | 83      | 83     | 83     | 83      |
| Qtd de dormentes                     | 80      | 81      | 81     | 80     | 81      |
| Dormentes ausentes                   | 3       | 2       | 2      | 3      | 2       |
| Densidade - dormentes ausentes       | 3,75%   | 2,47%   | 2,47%  | 3,75%  | 2,47%   |
| Densidade - dormentes rachados       | 100,00% | 100,00% | 98,77% | 98,75% | 100,00% |
| Densidade - dormentes desenquadrados | 3,61%   | 2,41%   | 2,41%  | 3,61%  | 2,41%   |
| QTD. NORMAL DE PLACAS                | 166     | 166     | 166    | 166    | 166     |
| Placas de apoio ausentes             | 6       | 5       | 12     | 12     | 10      |
| Densidade – placas                   | 3,75%   | 3,09%   | 7,41%  | 7,50%  | 6,17%   |
| QTD. NORMAL DE GRAMPOS               | 332     | 332     | 332    | 332    | 332     |
| Grampos ausentes                     | 14      | 15      | 18     | 25     | 15      |
| Densidade – grampos                  | 4,22%   | 4,52%   | 5,42%  | 7,53%  | 4,52%   |
| QTD. NORMAL DE TIREFÕES              | 664     | 664     | 664    | 664    | 664     |
| Tirefões ausentes                    | 109     | 123     | 166    | 164    | 141     |
| Densidade – tirefões                 | 16,42%  | 18,52%  | 25,00% | 24,70% | 21,23%  |

Fonte: Autor (2019).

Tabela 15 - Densidade dos subtrechos 06 a 10.

| DENSIDADE DOS DEFEITOS POR SUBTRECHO |         |         |         |         |         |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ITEM AVALIADO                        | ST 06   | ST 07   | ST 08   | ST 09   | ST 10   |
| QTD NORMAL DE DORMENTES              | 83      | 83      | 83      | 83      | 83      |
| Qtd de dormentes                     | 82      | 83      | 83      | 82      | 82      |
| Dormentes ausentes                   | 1       | 0       | 0       | 1       | 1       |
| Densidade - dormentes ausentes       | 1,22%   | 0,00%   | 0,00%   | 1,22%   | 1,22%   |
| Densidade - dormentes rachados       | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Densidade - dormentes desenquadrados | 1,20%   | 0,00%   | 0,00%   | 1,20%   | 1,20%   |
| QTD. NORMAL DE PLACAS                | 166     | 166     | 166     | 166     | 166     |
| Placas de apoio ausentes             | 6       | 2       | 16      | 8       | 8       |
| Densidade – placas                   | 3,66%   | 1,20%   | 9,64%   | 4,88%   | 4,88%   |
| QTD. NORMAL DE GRAMPOS               | 332     | 332     | 332     | 332     | 332     |
| Grampos ausentes                     | 14      | 8       | 44      | 8       | 41      |
| Densidade – grampos                  | 4,22%   | 2,41%   | 13,25%  | 2,41%   | 12,35%  |
| QTD. NORMAL DE TIREFÕES              | 664     | 664     | 664     | 664     | 664     |
| Tirefões ausentes                    | 132     | 120     | 134     | 129     | 196     |
| Densidade – tirefões                 | 19,88%  | 18,07%  | 20,18%  | 19,43%  | 29,52%  |

Fonte: Autor (2019).

### 5.6.3 Comparação entre as técnicas de avaliação

Após a compatibilização de ambas as avaliações, buscou-se contrapor os resultados, com a finalidade de verificar a eficiência e veracidade dos parâmetros estabelecidos. Para isso, o tratamento dos dados foi realizado para cada tipo de avaliação, para que se chegasse ao formato ideal de comparação.

Os dados obtidos por meio da avaliação subjetiva, estavam estabelecidos por subtrecho de acordo com o grupo dos componentes da via. Este trabalho propôs calcular em seguida, um VSA resultante que representasse a condição geral do subtrecho. Para isso, tornou-se necessário estabelecer pesos para as notas dos componentes, com a finalidade de obter um valor mais condizente com a realidade.

Os pesos foram atribuídos de acordo com o grau de severidade dos defeitos. Por exemplo, em uma via férrea, os defeitos mais severos e que mais contribuem para a ocorrência de acidentes, estão relacionados aos trilhos e fixações, portanto atribuiu-se um peso maior a estes componentes, seguidos de dormentes e por último o lastro.

Para a avaliação objetiva, a análise foi feita de maneira análoga, em que as densidades que também haviam sido distribuídas por subtrecho e por grupo de componente, deram origem a uma densidade resultante, que também estabeleceu pesos como fator de ponderação, visando obter um valor que retratasse a quantificação geral de defeitos de cada subtrecho.

Os fatores de ponderação utilizados para a obtenção do VSA resultante do subtrecho, foram atribuídos da seguinte maneira:

- Trilhos e fixações: 0,5;
- Dormentes: 0,3;
- Lastro: 0,2.

Com isso, foram obtidos 10 (dez) valores de VSA e densidade resultantes, que foram confrontados para verificar a consistência dos dados obtidos durante a inspeção.

A seguir, demonstra-se um quadro resumo com a média dos valores obtidos a partir das ponderações.

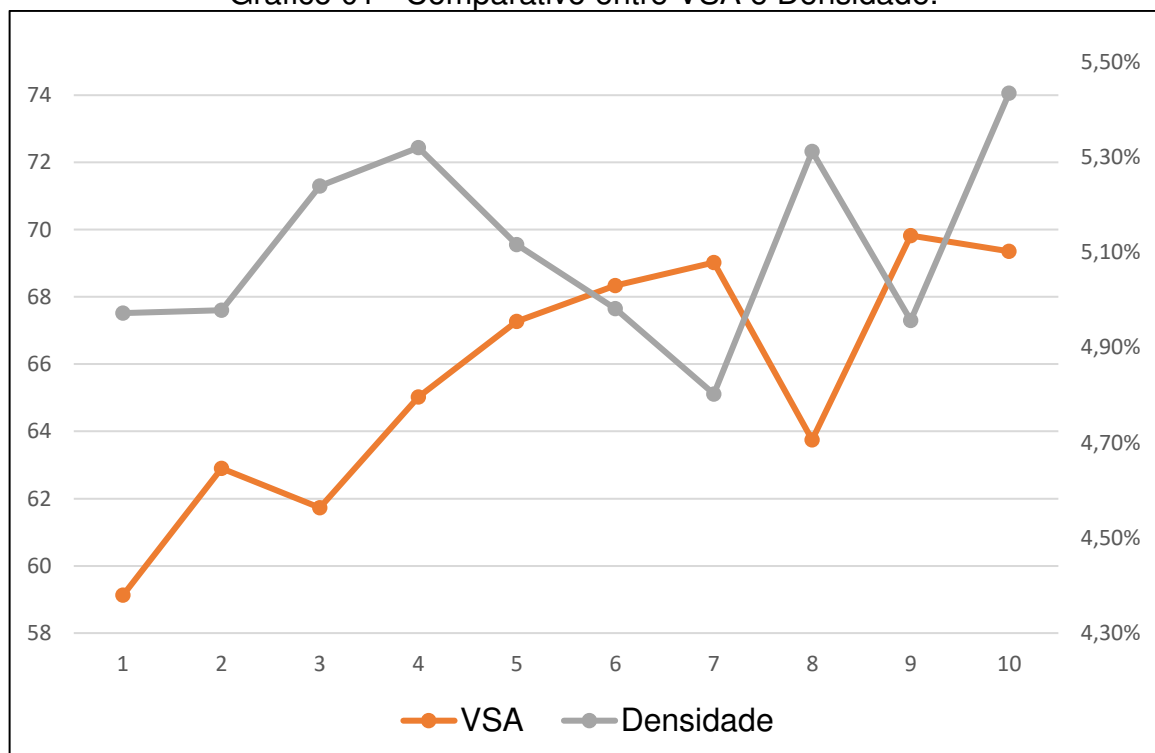
Tabela 16 - Valores ponderados de VSA e densidade.

| SEGMENTO     | VSA<br>(resultante) | DENSIDADE<br>(resultante) |
|--------------|---------------------|---------------------------|
| SUBTRECHO 01 | 59,13               | 4,97%                     |
| SUBTRECHO 02 | 62,90               | 4,98%                     |
| SUBTRECHO 03 | 61,73               | 5,24%                     |
| SUBTRECHO 04 | 65,02               | 5,32%                     |
| SUBTRECHO 05 | 67,28               | 5,12%                     |
| SUBTRECHO 06 | 68,34               | 4,98%                     |
| SUBTRECHO 07 | 69,03               | 4,80%                     |
| SUBTRECHO 08 | 63,75               | 5,31%                     |
| SUBTRECHO 09 | 69,83               | 4,96%                     |
| SUBTRECHO 10 | 69,36               | 5,43%                     |

Fonte: Autor (2019).

Os valores estão retratados a seguir, através do gráfico, para facilitar a compreensão da continuidade dos dados.

Gráfico 01 - Comparativo entre VSA e Densidade.



Fonte: Autor (2019).

A análise do gráfico permite constatar uma relação inversa de proporcionalidade entre os valores analisados, de acordo com o esperado. É evidente que para trechos com maior densidade de defeitos, as avaliações por notas deveriam tender a números mais baixos, já que as patologias foram presentes em maior escala. E conseqüentemente, a diminuição nos valores de densidade, resultariam em maiores notas do VSA.

De todo o trecho analisado, somente dois subtrechos apresentaram uma leve tendência contrária ao esperado, mas não inviabiliza a utilização do método, já que na totalidade a avaliação apresentou consistência. Além de que, deve-se considerar o fator humano e também a subjetividade dos defeitos, que podem ter sido maiores em quantidade, porém menores na severidade.

Vale ressaltar, que para essa ponderação, as notas relacionadas aos itens de talas de junção (figura 41) não foram compatibilizadas, já que esse acessório não esteve presente em boa parte dos subtrechos analisados. A não consideração desse item no cálculo, deu-se devido à ausência de defeitos que pudessem ser quantificados, inviabilizando a atribuição de uma ponderação, já que se constatou, somente um desgaste normal pelo uso, que não foi suficiente para condenar a peça avaliada.

Figura 41 - Tala de junção na via analisada.



Fonte: Autor (2019).

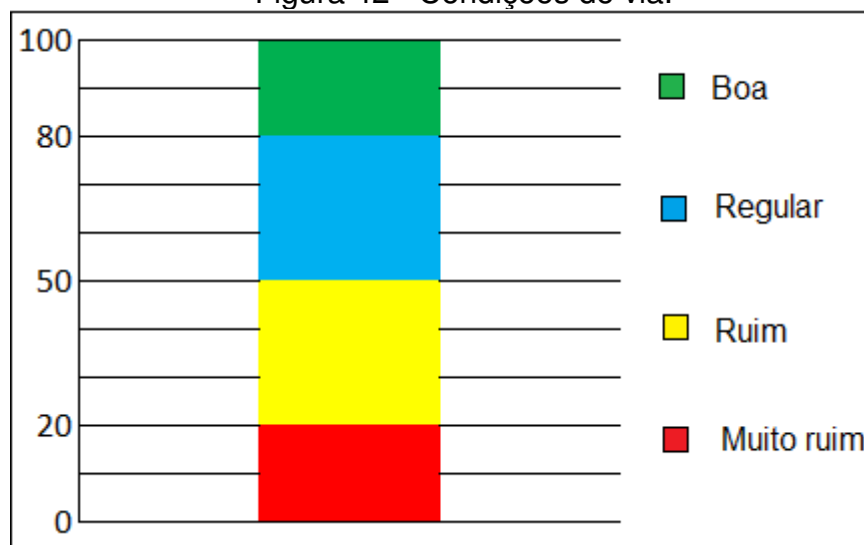
O confrontamento dos dois parâmetros demonstra que, a avaliação subjetiva pode sim ser utilizada e apresentar resultados que transmitam a realidade do pavimento ferroviário analisado, desde que executada com as ferramentas necessárias e os procedimentos sejam aplicados. É importante ressaltar que, as avaliações subjetivas devem sim ser realizadas, porém, sempre com uma função complementar, não excluindo a necessidade de métodos objetivos, que proporcionam resultados mais compatíveis com a realidade.

Utilizando o trecho de 500m analisado como amostra para a extensão total do ramal, pode-se determinar um VSA médio para todo o trecho de 65,63 obtido a partir da soma de todos os VSA resultantes divididos pela quantidade de avaliações.

Devido ao maior peso na ponderação, os trilhos contribuíram significativamente no valor do VSA, pois a ausência de defeitos e/ou defeitos de baixa gravidade, pontuais ou lineares, melhorou o índice de avaliação, sendo considerado satisfatório pelos padrões operacionais atuais da via.

Para se ter um parâmetro global de avaliação da via, foi desenvolvido pelo autor, com base em pesquisas e conhecimento teórico, uma escala (figura 42) que permite mensurar a qualidade estrutural da via férrea, também utilizado como suporte à avaliação subjetiva durante a inspeção da via.

Figura 42 - Condições de via.



Fonte: Autor (2019).

O VSA médio, obtido pela média de todos os VSAs dos subtrechos, foi de 65,63 e de acordo com a escala proposta, a via pode ser considerada regular. Nesta

análise, a via atende as condições operacionais atuais pois a velocidade e quantidade de composições que trafegam no trecho analisado é baixa, diminuindo a probabilidade de evolução exponencial dos defeitos existentes, mas não se exclui a necessidade de manutenção para a garantia de segurança e qualidade operacional.

Com o objetivo de reduzir custos e maximizar os lucros da operação, devem ser tomadas algumas precauções quanto a via, para que o impacto gerado pelas patologias não inviabilize o sistema operacional. Dentre elas, pode-se recomendar as seguintes medidas:

- Trilhos: Esmerilhamento das superfícies (boleto, alma e patim) para que sejam retirados os pequenos defeitos superficiais encontrados (figura 43) além de realizar manutenção nas juntas, com o afastamento ou aproximação dos trilhos (figura 44);
- Dormentes: Reposição em quantidades consideráveis, devido à grande quantidade de dormentes rachados ou apodrecidos, e realizar reenquadramentos;
- Lastro: Realizar limpeza, desguarnecimento e regulagem, devido à grande colmatação encontrada e alguns trechos com insuficiência de lastro (figura 45);
- Fixações: Reposição considerável de itens, devido à ausência e afrouxamento de tirefões, placas e grampos.

Figura 43 - Defeitos superficiais em trilhos.



Fonte: Autor (2019).



Figura 44 - Ausência de espaçamento entre os trilhos.



Fonte: Autor (2019).

Figura 45 - Insuficiência e colmatação do lastro.



Fonte: Autor (2019).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho retratou um estudo de caso visando a avaliação das condições da superestrutura ferroviária, com foco nos elementos estruturais, de um ramal da Estrada de Ferro Carajás, através da aplicação de adaptações metodológicas e inspeções de campo. O segmento em questão foi avaliado de maneira qualitativa e quantitativa, levando em consideração as condições de atendimento às solicitações exercidas pela operação ferroviária naquele pavimento.

Diante da carência de informações e investimentos no setor, este trabalho mostra a importância da utilização de métodos e técnicas alternativas para avaliação e acompanhamento do pavimento ferroviário, já que as suas condições estão diretamente ligadas ao ritmo de operação da via, determinando desde o seu pleno estado de funcionamento até a redução ou paralisação total dos serviços.

A concepção de sistemas de gerência de pavimentos se mostra muito útil e possível de ser implantada, estimulando e visando a redução de custos e acidentes, apresentando mapeamentos e planejamentos das manutenções que, se feitas de maneira cíclica e programada, são financeiramente mais viáveis e diminuem a probabilidade de fechamento da via por problemas estruturais. Para o trecho analisado, percebe-se uma certa deficiência nesse aspecto devido as condições patológicas encontradas.

O trabalho buscou avaliar a via férrea, a partir de conceitos e adaptações do pavimento rodoviário, baseado na premissa da semelhança, de um modo genérico, dos dois modais. Pela análise dos resultados, percebe-se que a correta execução das metodologias permite estabelecer parâmetros confiáveis e que resultem em índices globais de avaliação.

Foi constatado que esses índices e parâmetros são capazes de determinar e propor recomendações de intervenções de manutenções assim como o momento mais oportuno de realiza-las, reduzindo as interferências nos tráfegos dos trens. Sintetizando, pode-se dizer que esses parâmetros funcionam como base auxiliar para o desenvolvimento de um aprimorado sistema de gerência de pavimentos.

As avaliações realizadas foram desenvolvidas por caminhamento e de maneira visual, o que proporcionou uma maior interação com a via, além de proporcionar a detecção de defeitos que poderiam ser mal interpretados em uma análise através de maquinários. Os resultados obtidos nesse mecanismo de avaliação se mostram verídicos e condizentes com a realidade da via.

Diante da análise de todos os resultados, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas com a utilização de metodologias que possam utilizar fatores tecnológicos, com o emprego de máquinas e equipamentos, a fim de avaliar também as condições relativas a aspectos geométricos da via, que também desempenha grande influência na operação. Deve-se lembrar também, da importância da análise aos componentes da infraestrutura ferroviária, que é responsável por manter estável toda a superestrutura da via.

## REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO estatístico ferroviário. **Ministério da Infraestrutura**, Brasília, 05, jul. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5564: Via férrea – Lastro-padrão**. Rio de Janeiro, p. 04. 1991.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7511: Dormente de madeira – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, p. 24. 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7590: Trilho Vignole – Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 37. 2012.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES FERROVIÁRIOS (ANTF) – **Informações gerais**. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>. Acesso em: 31 out. 2019.
- BARIA, Igor. **Sistema de gerência de pavimentos aplicado a via permanente metroferroviária auxiliado por um sistema de informações geográficas**, 2015. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- BESSA, Vanessa Pinto. **Avaliação da superelevação em ferrovias: um estudo de caso**. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.
- BORGES NETO, Camilo. **Manual didático de ferrovias**, 2019. Universidade Federal do Paraná.
- BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de ferro – Via Permanente**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1988.
- CÂMARA, Guilherme Becker da. **Procedimento e software para identificar, classificar e analisar problemas na linha ferroviária de trem de carga**. 2016. Monografia (Bacharel em Engenharia Ferroviária e Metroviária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.
- COIMBRA, Marcelo do Vale. **Modos de falha dos componentes da via permanente ferroviária e seus efeitos no meio ambiente**, 2008. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.
- CORDEIRO, William Rubbioli; GUIMARÃES, Antonio Carlos Rodrigues; MARQUES, Maria Esther. **Manutenção Preditiva, de Infraestrutura Ferroviária em um Trecho da Malha de SP**. Instituto Militar de Engenharia – IME. Rio de Janeiro, 2015.
- COSTA, Robson Correia da. **Proposição de dispositivo de medidas “in situ” para avaliação do comportamento mecânico de lastro ferroviário: Estudo de caso na**

**Estrada de Ferro Carajás**, 2016. 176p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DANIELESKI, Maria Luiza. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Transportes) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DENARDI, Lucas Seroni. Diagnóstico das principais falhas de via permanente ferroviária visando reduzir a indisponibilidade na circulação de trens. Ponta Grossa, 2018, 12p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – PRO 006/2003**. 10 p.

\_\_\_\_\_. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – PRO 009/2003**. 06 p.

\_\_\_\_\_. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – PRO 007/2003**. 11 p.

\_\_\_\_\_. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – PRO 008/2003**. 11 p.

\_\_\_\_\_. **Procedimento de Inspeção de Materiais – PIMs**. Rio de Janeiro: DNIT, 2015. Publicação: PIM 02.

\_\_\_\_\_. (2016). **Glossário de termos ferroviários**. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/ferrovias/glossario-de-termos-ferroviarios/glossario-de-termos-ferroviarios>>. Acesso em: 03 de outubro de 2019.

Dias, Therezinha Maria da Silva *et al.* Manutenção centrada na confiabilidade em ferrovias de cargas em área urbana. Rio de Janeiro, 2015, 9p.

GOOGLE MAPS, 2019. Disponível em:<<https://www.google.com.br/maps/place/2%C2%B055'14.5%22S+44%C2%B020'10.3%22W/@-2.9207,-44.3383887,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-2.9207!4d-44.3362>>. Acesso em: 07 de novembro de 2019.

ILDEFONSO, Jesner Sereni. **Proposta de um sistema de gerência para vias férreas brasileiras**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LIMA, Henrique Alexandre Dourado. **Procedimento para seleção de método para manutenção da geometria da superestrutura ferroviária**, 1998. Dissertação

(Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1998.

MACHADO, Aldo Marconi Wessen. **Uma contribuição à metodologia de recebimento, manutenção e desempenho do lastro ferroviário**, 2006. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

MARTINS, Lídia Diniz. **Levantamento da utilização de sistemas de gerência de pavimentos no Brasil e estudo de caso**, 2015. 161p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, fev. 2015.

MENDES, Brendon Maia. **Análise da produtividade de máquinas de grande porte em obra de correção geométrica ferroviária na estrada de ferro carajás**. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

MUNIZ DA SILVA, Luiz Francisco. **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 Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação do Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

NABAIS, Rui José da Silva. **Manual básico de engenharia ferroviária**. Associação Brasileira de Pavimentação – ABPV. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

OLIVEIRA, Júlio César. **Estrutura de via permanente ferroviária e suas patologias**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018.

PAIM DA SILVA, Fernando Henrique. **Estudo do comportamento de um lastro ferroviário sob carga repetida em modelo físico de verdadeira grandeza**, 2018. 194p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar. 2018.

PAINEL cni da infraestrutura brasileira. **Confederação Nacional da Indústria**, Brasília, 07, jun. 2018.

PEDRONI, Patrick Guedes. **Análise de falhas das fraturas de trilhos: o caso da ferrovia do aço**. 2008. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

PEREIRA, Jamille Albuquerque. **Impactos das condições das vias permanentes na operação ferroviária: avaliação de um método de inspeção das condições de manutenção e reabilitação de ferrovias**. 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

PORTO, Telmo Giolito. **PTR 2501 – Ferrovias**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: [s.n], 2004.

RIBEIRO, Fernando Sgavioli. **Contribuição para análise do custo do ciclo de vida de um sistema de gerência de pavimento ferroviário**, 2017. 314 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SCHIAVON, Gustavo da Silva; MANZOLI, Anderson. Avaliação objetiva e subjetiva em superfície de pavimento flexível em trecho urbano – Análise da distância entre estações de avaliação em subtrechos homogêneos. Ribeirão Preto, 2017, 23p.

SEMPREBONE, Paula da Silva. **Desgastes em trilhos ferroviários – um estudo teórico**, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SILVA JÚNIOR, Laércio Eustáquio da. **Tecnologias de manutenção de lastro de pedra**. 2008. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

TRANSPORTE em números. **Confederação Nacional do Transporte (CNT)**, Brasília, 17, jun. 2019.

TRINDADE, Everton Júnio. **Análise sobre a utilização de Dormentes de Concreto como solução alternativa para a Via Permanente na MRS Logística S. A.** 2012. Monografia (Especialização em Engenharia de Transporte Ferroviário de Cargas) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

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

## APÊNDICE A – Formulário utilizado para inspeção.

Tabela 17 – Primeira parte do formulário de avaliação.

| <b>ITEM AVALIADO: CONSERVAÇÃO DOS TRILHOS</b>      |                   |   |             |
|--|-------------------|---|-------------|
| <b>FAIXA</b>                                       | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>  | <b>NOTA</b> |
| 80-100   | Baixa             | Trilhos com desgastes superficiais.   |             |
| 50 - 80  | Média             | Trilhos desgastados com pouca intensidade.  |             |
| 20 - 50  | Alta              | Presença de fraturas, esmagamentos e outros desgastes.  |             |
| 0 - 20   | Muito alta        | Grande frequência de esmagamentos, fraturas, ondulações e etc.  |             |
| <b>ITEM AVALIADO: TRINCAS NA SUPERFÍCIE</b>        |                   |   |             |
| <b>FAIXA</b>                                       | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>  | <b>NOTA</b> |
| 80-100   | Baixa             | Trincas superficiais no boleto.   |             |
| 50 - 80  | Média             | Trincas inferiores a 5 cm no boleto, e 13 cm na alma e no patim.  |             |
| 20 - 50  | Alta              | No boleto entre 5 e 10 cm; na alma e patim entre 13 e 76 cm.  |             |
| 0 - 20   | Muito alta        | No boleto maior que 10; Alma e patim maior que 76 cm.   |             |
| <b>ITEM AVALIADO: TRINCAS NAS FURAÇÕES</b>         |                   |   |             |
| <b>FAIXA</b>                                       | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>  | <b>NOTA</b> |
| 80-100   | Baixa             | Sem trincas.  |             |
| 50 - 80  | Média             | Nos furos das juntas $\leq 13$ mm.  |             |
| 20 - 50  | Alta              | Nos furos das juntas $> 13$ mm e $\leq 38$ mm.  |             |
| 0 - 20   | Muito alta        | Nos furos das juntas $> 38$ mm.   |             |
| <b>ITEM AVALIADO: CONSERVAÇÃO DOS DORMENTES</b>    |                   |   |             |
| <b>FAIXA</b>                                       | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>  | <b>NOTA</b> |
| 80-100   | Baixa             | Realizar a avaliação de acordo com os aspectos visuais como a presença de fissuras, rachaduras, quebras e apodrecimento do material, deverão ser classificadas como mais severa as que se encontrarem nos apoios dormente-trilho. |             |
| 50 - 80  | Média             |   |             |
| 20 - 50  | Alta              |   |             |
| 0 - 20   | Muito alta        |   |             |
| <b>ITEM AVALIADO: POSICIONAMENTO DOS DORMENTES</b> |                   |   |             |
| <b>FAIXA</b>                                       | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>  | <b>NOTA</b> |
| 80-100   | Baixa             | Desenquadrado ou deslocado em até 20 cm.  |             |
| 50 - 80  | Média             | Medida maior que 20 cm sem ser na junta.  |             |
| 20 - 50  | Alta              | Medida maior que 20 cm sendo na junta   |             |
| 0 - 20   | Muito alta        | -   |             |
| <b>ITEM AVALIADO: AUSÊNCIA DOS DORMENTES</b>       |                   |   |             |
| <b>FAIXA</b>                                       | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>  | <b>NOTA</b> |
| 80-100   | Baixa             | Aproximadamente 15% dos dormentes do subtrecho ausentes.  |             |
| 50 - 80  | Média             | De 15 a 40% dos dormentes do subtrecho ausentes.  |             |
| 20 - 50  | Alta              | De 40 a 70% dos dormentes do subtrecho ausentes.  |             |
| 0 - 20   | Muito alta        | Mais de 70% dos dormentes do subtrecho ausentes.  |             |

Fonte: Autor (2019).



Tabela 18 - Segunda parte do formulário de avaliação.

| <b>ITEM AVALIADO: CONSERVAÇÃO DA JUNTA DOS TRILHOS</b>                  |                   |  |             |
|---|-------------------|--|-------------|
| <b>FAIXA</b>  | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>   | <b>NOTA</b> |
| 80-100  | Baixa             | Junta com a presença de poucos arranhões/trincas.  |             |
| 50 - 80   | Média             | Trincas, arranhões e bolhas em proporções maiores.   |             |
| 20 - 50   | Alta              | Surgimento de martelamento, caroço e canoa.  |             |
| 0 - 20  | Muito alta        | Presença das patologias citadas com proporções maiores.  |             |
| <b>ITEM AVALIADO: CONSERVAÇÃO DAS TALAS DE JUNÇÃO DOS TRILHOS</b>       |                   |  |             |
| <b>FAIXA</b>  | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>   | <b>NOTA</b> |
| 80-100  | Baixa             | Até cerca de 30% das talas apresentando trincas.   |             |
| 50 - 80   | Média             | Até cerca de 25% das talas estando quebradas.  |             |
| 20 - 50   | Alta              | Mais de 30% das talas trincadas.   |             |
| 0 - 20  | Muito alta        | Mais de 25% das talas estando ausentes ou trincadas.   |             |
| <b>ITEM AVALIADO: FIXAÇÃO DAS TALAS DE JUNÇÃO DOS TRILHOS</b>           |                   |  |             |
| <b>FAIXA</b>  | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>   | <b>NOTA</b> |
| 80-100  | Baixa             | Cerca de 15% parafusos defeituosos/faltando/soltos.  |             |
| 50 - 80   | Média             | De 15 a 30% dos parafusos defeituosos/faltando/soltos.   |             |
| 20 - 50   | Alta              | De 30 a 60% dos parafusos defeituosos/faltando/soltos.   |             |
| 0 - 20  | Muito alta        | Mais de 60%.   |             |
| <b>ITEM AVALIADO: CONSERVAÇÃO DAS PLACAS DE APOIO (TRILHO-DORMENTE)</b> |                   |  |             |
| <b>FAIXA</b>  | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>   | <b>NOTA</b> |
| 80-100  | Baixa             | Cerca de 40% das placas com presença de trincas.   |             |
| 50 - 80   | Média             | Cerca de 35% das placas quebradas.   |             |
| 20 - 50   | Alta              | Mais de 40% das placas trincadas.  |             |
| 0 - 20  | Muito alta        | Mais de 35% das placas quebradas.  |             |
| <b>ITEM AVALIADO: FIXAÇÃO DAS PLACAS DE APOIO (TRILHO-DORMENTE)</b>     |                   |  |             |
| <b>FAIXA</b>  | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>   | <b>NOTA</b> |
| 80-100  | Baixa             | Fixação imprópria ou mal posicionada.  |             |
| 50 - 80   | Média             | Alguns acessórios soltos, quebrados ou ausentes.   |             |
| 20 - 50   | Alta              |  |             |
| 0 - 20  | Muito alta        | A maior parte dos acessórios soltos, quebrados ou ausentes.  |             |
| <b>ITEM AVALIADO: COLMATAÇÃO DO LASTRO FERROVIÁRIO</b>                  |                   |  |             |
| <b>FAIXA</b>  | <b>SEVERIDADE</b> | <b>OBSERVAÇÕES</b>   | <b>NOTA</b> |
| 80-100  | Baixa             | Não serão classificadas especificações para o lastro ferroviário, de maneira similar ao dormente, a avaliação deverá ser realizada a partir de aspectos visuais, com a constatação da quantidade de impurezas, bem como sua proporção. |             |
| 50 - 80   | Média             |  |             |
| 20 - 50   | Alta              |  |             |
| 0 - 20  | Muito alta        |  |             |

Fonte: Autor (2019).