

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Rafael Vilela Vagmaker

**BALANÇAS FERROVIÁRIAS DINÂMICAS: ESTUDO DE CASO DA
IMPLANTAÇÃO DE UMA BALANÇA INSTRUMENTADA A PARTIR DA
RECOMENDAÇÃO INTERNACIONAL R-106 DA OIML**

Florianópolis

2023

Rafael Vilela Vagmaker

**BALANÇAS FERROVIÁRIAS DINÂMICAS: ESTUDO DE CASO DA
IMPLANTAÇÃO DE UMA BALANÇA INSTRUMENTADA A PARTIR DA
RECOMENDAÇÃO INTERNACIONAL R-106 DA OIML**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vilela Vagmaker, Rafael

Balanças ferroviárias dinâmicas : estudo de caso da
implantação de uma balança instrumentada a partir da
recomendação internacional R-106 da OIML / Rafael Vilela
Vagmaker ; orientador, Marcos Aurélio Marques Noronha,
2023.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Balanças ferroviárias dinâmicas.
3. Pesagem em movimento. 4. Transporte ferroviário de
cargas. I. Aurélio Marques Noronha, Marcos. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Rafael Vilela Vagmaker

**BALANÇAS FERROVIÁRIAS DINÂMICAS: ESTUDO DE CASO DA
IMPLANTAÇÃO DE UMA BALANÇA INSTRUMENTADA A PARTIR DA
RECOMENDAÇÃO INTERNACIONAL R-106 DA OIML**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 13 de março de 2023.

Prof.^a Liane Ramos da Silva, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca examinadora

Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.
Orientador

Prof. Eduardo Lobo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Bruno Saraiva Muniz
Engenheiro Ferroviário

Florianópolis, 2023.

Depois do medo, vem o mundo.
(Clarice Lispector)

AGRADECIMENTOS

Na mitologia sânscrita, sopro é vida, e eu sempre tive medo de não dizer o bastante às pessoas que me rodeiam, sempre tive medo de não dormir à noite pela suspeita de ter sido ingrato. Então hoje, com o coração apertado nessa sensação de dever cumprido, eu dirijo a palavra primeiro à minha família, a quem eu tive que amar à distância durante os últimos anos e sentir saudade todos os dias enquanto me aventurava e me descobria em outro estado. Maria, Valdeci, Rafaella e Rômulo: se eu sou o que sou hoje, foi porque um dia aprendi com vocês que eu tinha esse direito.

Logo quando cheguei a Florianópolis, eu li um texto sobre como estudar fora seria angustiante, difícil, desafiador, mas como todos esses sentimentos, no fim, serviriam para deixar minha pele mais grossa e meu coração mais leve. Hoje, no entanto, não sei se entendo o fim desse texto porque, enquanto tento escrever sobre meu tempo na cidade, meu coração é um pássaro e uma pedra.

Então o próximo passo é agradecer pelas minhas amizades, as pessoas que, aos poucos, fizeram com que eu esquecesse essa minha capacidade de me manter em separado. Vocês são imprescindíveis para mim. Amizade é matéria de salvação, afinal.

Assim, para todas as pessoas que me salvaram de ficar ilhado: eu levo vocês comigo em todos os momentos, a cada vez que decido me abrir para uma nova pessoa por ter conhecido, através de vocês, o sentimento de ser ouvido, compreendido e amado.

Em especial, eu agradeço à Tatiana e Bruna, amigas que estão comigo desde o meu primeiro dia na engenharia; agradeço à Juliana, por sua gentileza e seu coração gigante; agradeço ao Marcos, por sempre me mostrar que os problemas são pequenos e não mais altos que eu; agradeço ao Mateus, por ter sido uma constante na minha vida nesses últimos anos.

Por fim, agradeço aos professores de excelência da UFSC; ao meu orientador, Marcos Noronha; aos engenheiros do meu estágio, com quem pude descobrir um novo caminho para a minha carreira; a todos em quem eu me espelho para ser um profissional excelente, mas, acima de tudo, um engenheiro consciente.

RESUMO

Balanças ferroviárias dinâmicas são instrumentos automáticos de pesagem que servem para a aferição do peso de veículos ferroviários em movimento. Este trabalho estuda a implantação de uma balança ferroviária dinâmica em um pátio ferroviário para a aferição do peso de vagões vazios, e compara a execução com os requisitos de instalação presentes na Recomendação Internacional R-106 da Organização Mundial de Metrologia Legal. Para isso, o método utilizado consistiu no levantamento de dados de projeto com empresas fornecedoras desse tipo de instrumento, bem como o acompanhamento de obra de instalação de uma balança ferroviária dinâmica. Por fim, esses dados foram comparados e analisados, onde foi constatado o cumprimento dos requisitos pertinentes presentes na recomendação supracitada, bem como resultados satisfatórios na análise de dados de uma primeira aferição na balança instalada, que apresentou erros globais menores que os erros admissíveis permitidos na R-106.

Palavras-chave: balanças ferroviárias dinâmicas; pesagem em movimento, transporte ferroviário de cargas.

ABSTRACT

Dynamic railway scales are automatic weighing instruments used to measure the weight of moving railway vehicles. This work studies the implementation of a dynamic railway scale in a railway yard to measure the weight of empty wagons and compares the execution with the installation requirements present in the International Recommendation R-106 of the World Organization of Legal Metrology. For this, the method used consisted of surveying project data with companies that supply this type of instrument, as well as monitoring the installation work of a dynamic railway scale. Finally, these data were compared and analyzed, where compliance with the relevant requirements present in the recommendation was verified, as well as satisfactory results in the data analysis of a first measurement on the installed scale, which presented global errors smaller than the permissible errors allowed in the R-106.

Keywords: dynamic railway scales; weighing in motion, rail freight transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Competição dos modos de transporte rodoviário e ferroviário	23
Figura 2 – Histórico de Movimentação de Cargas nas Ferrovias Brasileiras	24
Figura 3 – Histórico do IAF das associadas à ANTF	26
Figura 4 – Comparação da matriz de transportes de alguns países	27
Figura 5 – Mapa das ferrovias concedidas no Brasil.....	28
Figura 6 – Estrada de Ferro Vitória Minas.....	29
Figura 7 – Ferrovia Tereza Cristina.....	30
Figura 8 – Ferrovia Transnordestina S.A	31
Figura 9 – Estrutura logística da Rumo	32
Figura 10 – Malha ferroviária da Ferroeste	33
Figura 11 – Componentes da via permanente	36
Figura 12 – Dormente de madeira.....	38
Figura 13 – Dormente de aço.....	39
Figura 14 – Dormentes de concreto bibloco – Ferrovia Tereza Cristina	40
Figura 15 – Dormente de concreto monobloco - Ferrovia Tereza Cristina.....	40
Figura 16 – Seção transversal do trilho.....	41
Figura 17 – Talas de junção.....	42
Figura 18 – Fixação Pandrol	43
Figura 19 – A medida da bitola.....	44
Figura 20 – Vagão gôndola	47
Figura 21 – Vagão-tanque para combustíveis.....	47
Figura 22 – Tráfego mútuo	49
Figura 23 – Direito de passagem	50
Figura 24 – Pátio ferroviário	51
Figura 25 – Fluxograma da metodologia.....	58
Figura 26 – Locação das balanças.....	59
Figura 27 – Trilho instrumentado e talas de junção colada	60
Figura 28 – Zonas de pesagem e espaçamento de dormentes	60
Figura 29 – Nivelador de trilhos.....	63
Figura 30 – Tala de junção colada	63
Figura 31 – Cabo 7x22 AWG (escala americana).....	64
Figura 32 – Sentidos de passagem.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos da R-106.....	68
-------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concessões Ferroviárias da antiga malha da RFFSA.....	22
Tabela 2 – Índice de Acidentes Ferroviários por concessionária em 2021	25
Tabela 3 – Tipos de cargas movimentadas nas ferrovias brasileiras (TU)	34
Tabela 4 – Classificação brasileira de trilhos ferroviários.....	42
Tabela 5 – Extensão da malha ferroviária brasileira por bitola.....	44
Tabela 6 – Classes de precisão de balanças	55
Tabela 7 – Calibração (verificação).....	66
Tabela 8 – Aferição (ajuste)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
CNT	Confederação Nacional do Transporte
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S.A
CMBEU	Comissão Mista Brasil-Estados Unidos
ANTF	Associação Nacional de Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFPO	Estrada de Ferro Paraná Oeste
EFVM	Estrada de Ferro Vitória-Minas
FCA	Ferrovias Centro-Atlântica
FNSTN	Ferrovias Norte-Sul Tramo Norte
FTC	Ferrovias Tereza Cristina
FTL	Ferrovias Transnordestina Logística
RMN	Rumo Malha Norte
RMO	Rumo Malha Oeste
RMP	Rumo Malha Paulista
RMS	Rumo Malha Sul
AMV	Aparelho de Mudança de Via
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
TU	Tonelada Útil
TKU	Tonelada Quilômetro Útil
TKB	Tonelada Quilômetro Bruta
OIML	<i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i> /Organização Mundial de Metrologia Legal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	LIMITAÇÕES DE PESQUISA.....	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	HISTÓRICO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS.....	19
2.1.1	Caracterização e contexto atual brasileiro	22
2.1.1.1	<i>Produtividade do setor ferroviário</i>	23
2.1.1.2	<i>Índice de Acidentes</i>	25
2.1.1.3	<i>A ferrovia na matriz nacional de transportes</i>	26
2.1.1.4	<i>Regulação e fiscalização</i>	27
2.1.1.4.1	Concessionárias ferroviárias brasileiras	28
2.1.1.4.1.1	Vale S.A	28
2.1.1.4.1.2	Ferrovia Tereza Cristina (FTC)	29
2.1.1.4.1.3	Ferrovia Transnordestina Logística (FTL)	30
2.1.1.4.1.4	MRS Logística	31
2.1.1.4.1.5	Rumo Logística	31
2.1.1.4.1.6	VLI Logística	32
2.1.1.4.1.7	Ferroeste	33
2.1.1.5	<i>Cargas movimentadas</i>	33
2.1.2	Características do transporte ferroviário de cargas	35
2.1.2.1	<i>Via permanente</i>	35
2.1.2.1.1	Lastro e sublastro	36
2.1.2.1.2	Dormentes	37
2.1.2.1.2.1	Dormentes de madeira	37
2.1.2.1.2.2	Dormentes de aço	38
2.1.2.1.2.3	Dormentes de concreto	39
2.1.2.1.3	Trilhos	41
2.1.2.1.3.1	Bitola	43

2.1.2.2	<i>Material rodante</i>	45
2.1.2.2.1	Material de tração	45
2.1.2.2.2	Material rebocado	46
2.1.2.3	<i>Operação ferroviária</i>	48
2.1.2.3.1	Tráfego mútuo e direito de passagem	49
2.1.2.3.2	Centro de Controle Operacional (CCO)	50
2.1.2.3.3	Pátios Ferroviários	50
2.1.2.4	<i>Indicadores de desempenho de uma ferrovia</i>	51
2.1.2.4.1	Tonelada útil (TU)	52
2.1.2.4.2	Tonelada quilômetro útil (TKU)	52
2.1.2.4.3	Tonelada quilômetro bruta (TKB).....	53
2.1.2.4.4	Produtividade de locomotiva (TKU/locomotiva)	53
2.1.2.4.5	Produtividade de vagão	54
2.1.2.5	<i>Balanças ferroviárias</i>	54
2.1.2.5.1	Balanças dinâmicas	55
3	METODOLOGIA	57
4	ESTUDO DE CASO	59
4.1	PARÂMETROS DE PROJETO	59
4.2	ETAPAS DA IMPLANTAÇÃO	61
4.3	CALIBRAÇÃO DA BALANÇA	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	71
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Importantes na análise da movimentação efetiva de carga numa ferrovia, os indicadores de produção tornam o gerenciamento da operação ferroviária mais preciso, além de facilitar a tomada de decisões. Para esses indicadores, um dado imprescindível é a tonelada útil que cada vagão transporta e, para a obtenção desse dado, as balanças são utilizadas.

As balanças ferroviárias dinâmicas, objetos de estudo deste trabalho, consistem em equipamentos automáticos de pesagem, capazes de aferir o peso de vagões e outros veículos ferroviários quando em movimento. Saber a carga efetiva de tais veículos é de extrema importância, também, para a vida útil da via permanente, uma vez que esta suporta apenas certa quantidade de carga por eixo. Sendo assim, quanto mais precisa e recorrente for a pesagem dos vagões, maior é o controle sobre a via permanente no que tange a reparos e manutenções.

Outrossim, os indicadores de carga dos veículos ferroviários são fatores importantes na prevenção de acidentes, visto que, caso os vagões apresentem cargas assimétricas em relação aos seus eixos, isso pode provocar tombamentos de vagões ou descarrilamentos. As novas tecnologias em balanças dinâmicas resolvem este problema, disponibilizando facilmente as cargas pesadas tanto por eixo como também por rodéiros.

Além do mais, a balança dinâmica traz à discussão fatores importantes também para a operação ferroviária, que é o tempo gasto nas pesagens das composições. Ela permite que os vagões sejam pesados em movimento, o que diminui consideravelmente o tempo de permanência dessas composições nos pátios ferroviários.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O principal objetivo do presente trabalho é avaliar a implantação de uma balança de pesagem dinâmica num terminal ferroviário da cidade de Vitória, no estado

do Espírito Santo, de acordo com os requisitos de instalação da Recomendação Internacional R-106 da Organização Mundial de Metrologia Legal.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- a. Demonstrar os requisitos de instalação da balança;
- b. Explicar o procedimento de instalação da balança ferroviária dinâmica;
- c. Avaliar o procedimento de instalação de acordo com os parâmetros da Recomendação Internacional R-106 da OIML;
- d. Validar o teste de calibração das balanças de acordo com a Recomendação Internacional R-106 da OIML.

1.2 LIMITAÇÕES DE PESQUISA

Durante o desenvolvimento do trabalho, as principais limitações observadas foram de caráter normativo, pois a portaria do Inmetro nº 16/2004, utilizada para os instrumentos de medição ferroviários, como as balanças dinâmicas, foi revogada, sem qualquer portaria de substituição. O procedimento de instalação fica a cargo de cada uma das fornecedoras, embora a empresa em questão utilize a Recomendação Internacional R-106.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo do trabalho aborda uma introdução sobre o tema, bem como os objetivos geral e específicos de pesquisa, além das limitações encontradas ao longo dela.

O capítulo dois, por sua vez, apresenta a revisão de literatura a respeito do tema de pesquisa, começando com um breve histórico do transporte ferroviário de cargas para, então, discutir sobre o contexto atual no país, incluindo temas como a produtividade do setor ferroviário, o índice de acidentes e a participação da ferrovia na matriz de transportes brasileira, bem como a regulação e a fiscalização do modo

de transporte. Cita-se, brevemente, sobre algumas das concessionárias ferroviárias no Brasil, para então discorrer sobre a via permanente, o material rodante, a operação ferroviária e os indicadores de desempenho de uma ferrovia. Por fim, trata-se sobre as balanças ferroviárias, dando ênfase nas balanças ferroviárias dinâmicas, objeto principal deste estudo.

O capítulo três narra brevemente alguns aspectos do tipo de pesquisa escolhida, o estudo de caso, bem como a esquematização da metodologia e um fluxograma.

O capítulo quatro aborda o estudo de caso, discorrendo um pouco sobre os parâmetros de projeto da instalação de uma balança ferroviária dinâmica, as etapas da implantação e a calibração a ser feita nesses instrumentos.

No capítulo cinco, por fim, sintetiza-se os resultados do trabalho, as considerações finais do autor, propondo-se alguns temas para trabalhos futuros, de modo a enriquecer o tema. Logo após, há a lista de referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS

O transporte de carga sobre trilhos na Europa, de acordo com Santos (2021), remonta ao século XVI, em que os europeus utilizavam caminhos de madeira para transportar carvão e minério de ferro de minas subterrâneas em carroças. Dois séculos depois, empresas inglesas de mineração passaram a revestir os trilhos de madeira com metal para deixá-los mais duráveis. No entanto, foi só no início do século XIX que o primeiro veículo movido a vapor e projetado para andar sobre trilhos foi desenvolvido por um inventor inglês, Richard Trevithick, que conseguiu transportar 9 toneladas de carvão por uma extensão de 15 quilômetros de trilhos com sua invenção.

A partir deste momento, a construção de ferrovias no continente europeu obteve um alto crescimento ao difundir-se da Inglaterra para o restante da Europa de tal maneira que, por volta de 1870, a estrutura ferroviária presente atualmente no continente já havia sido inteiramente construída. As demais linhas foram construídas do fim do século XIX até o início do século XX (SANTOS, 2021).

Já o Brasil, por sua vez, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2016), iniciou sua história com as ferrovias apenas no ano de 1835, quando o Governo Imperial publicou o Decreto nº 101, conhecido como Lei Feijó, discorrendo sobre a concessão de 40 anos às empresas que pretendessem construir ferrovias que interligassem o Rio de Janeiro a vários outros estados, como São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia.

Entre os privilégios da lei, estavam a cessão das terras necessárias para a construção das estradas de ferro de forma gratuita e isenção de impostos para a importação de trilhos ou equipamentos de grande porte (CNT, 2013). Ainda assim, a construção de ferrovias tinha pouquíssima atratividade àquela época, e Santos (2021) explica que o marco inicial da história brasileira no que diz respeito às ferrovias se deu efetivamente apenas em 1852, com a Lei nº 641, que aumentava o prazo de concessão em no máximo 90 anos.

Também conhecida como Lei de Garantia de Juros, a Lei nº 641 ainda garantia todos os privilégios da Lei Feijó, acrescentando mais ajuda financeira de forma a incentivar a construção de mais ferrovias. O Brasil, à época, passava por um

momento desafiador, já que as indústrias e os bens de produção estavam escassos, então a lei ainda permitia a importação de equipamentos ferroviários isentos de imposto (CNT, 2013).

Dois anos depois da Lei nº 641, de acordo com o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN, 2014), o Brasil teve sua primeira ferrovia inaugurada: a Estrada de Ferro Petrópolis, hoje conhecida como Estrada de Ferro Mauá. Sendo uma concessão feita a Irineu Evangelista Souza, a estrada de ferro foi inaugurada por D. Pedro II e ligava o Porto Mauá a Fragoso, no município fluminense de Magé, com uma extensão de 14,5 quilômetros e uma bitola de 1,68 metros.

No entanto, como aponta um estudo da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2013), embora essa nova lei estimulasse a iniciativa privada a investir no setor ferroviário, não foi proposto um órgão que regulasse esses investimentos. A malha ferroviária cresceu sem um planejamento a longo prazo, o que resultou em projetos sem um padrão universal e, conseqüentemente, ferrovias com diferentes bitolas e inviabilizadas de sofrerem integração com o objetivo de deixar essa malha mais coesa.

A contar dessa situação, o setor ferroviário no Brasil passou por alguns períodos diferentes. No começo do século XX, por exemplo, a economia do país se encontrava num processo de industrialização, com a mão de obra assalariada crescendo e a agricultura sendo direcionada também para o mercado interno. Embora o setor tenha passado por uma escassez de investimentos em 1920, devido à construção de novas rodovias pavimentadas e receitas maiores para o setor rodoviário, as ferrovias desempenharam um papel importante nesse processo de industrialização, ampliando a malha ferroviária brasileira em mais de 8.000 quilômetros, de 1920 até 1950 (CNT, 2013).

Segundo Santos (2021), o modo de transporte ferroviário passou a mudar e adotar alguns parâmetros das ferrovias norte-americanas quando Getúlio Vargas integrou, em 1952, a pauta ferroviária na CMBEU (Comissão Mista Brasil-Estados Unidos). Tais parâmetros, como o truque de 2 eixos com 20 toneladas/eixo, os freios com ar comprimido substituindo os freios a vácuo e a tração diesel-elétrica substituindo a tração a vapor, permitiram que os Estados Unidos se tornassem o principal fornecedor de material rodante e material ferroso para o Brasil. Outra

característica importante dessa parceria adotada pelo sistema ferroviário brasileiro foi a prioridade para o transporte de carga.

A CMBEU foi, de acordo Lacerda (2002), o marco inicial de um planejamento mais detalhado do governo para a implantação de projetos e ações que visassem superar os limites que o transporte ferroviário apresentava no Brasil, limites estes causados pelas deficiências que a infraestrutura econômica acarretava. A comissão elaborou 41 projetos, sendo 24 deles a respeito do transporte ferroviário. Os projetos nº 1 e nº 2, por exemplo, foram criados para substituir os freios, engates e dispor a compra de vagões para a Estrada de Ferro Jundiaí e a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, respectivamente.

Em 1956, ocorreu a autorização do senado federal à criação da Rede Ferroviária Federal S.A, a RFFSA, uma sociedade por ações criada com o objetivo de incorporar numa mesma administração as ferrovias pertencentes à União, bem como as que fossem transferidas para o governo federal a partir desta data. No ano seguinte à autorização, a RFFSA foi instaurada oficialmente (LACERDA, 2002).

No entanto, mesmo com os esforços da CMBEU, o regime estatal das ferrovias começou a atrapalhar as operações ferroviárias. Santos (2021) explica que, apesar do Brasil se assemelhar aos Estados Unidos em território e aos padrões ferroviários adotados pelo Governo Vargas, a malha brasileira era consideravelmente menor que a norte-americana, o que limitava a atuação da ferrovia na matriz de transporte brasileira.

Em 1980, cerca de 8.000 quilômetros de linhas férreas foram desativadas, de acordo com dados da CNT num estudo de 2013. Em 1992, então, o primeiro passo para a retomada da participação do setor privado no modo de transporte foi dado: a Rede Ferroviária Federal S.A foi incluída no Plano Nacional de Desestatização, embora a concessão já fosse prevista na Constituição Federal de 1988. As concessões que viriam a desmembrar a malha da RFFSA tinham uma estrutura organizacional de separação vertical, que permitia à concessionária o controle da infraestrutura, da operação e da comercialização dos serviços na região da qual fazia parte a concessão.

As licitações ocorreram entre 1996 e 1998 e tinham concessões de 30 anos, prorrogáveis para mais trinta. Foram leiloadas, ao todo, sete malhas: Centro-Leste, Sudeste, Tereza Cristina, Nordeste, Sul, Paulista e Oeste. A Tabela 1 resume as

principais informações das malhas e para quais concessionárias foram leiloadas (CNT, 2013).

Tabela 1 – Concessões Ferroviárias da antiga malha da RFFSA

Malha	Data do leilão	Concessionária	Extensão (km)
Nordeste	18/07/1997	Companhia Ferroviária do Nordeste S.A.	4.534
Centro-Leste	14/06/1996	Ferroviária Centro-Atlântica S.A.	7.080
Sudeste	20/09/1996	MRS Logística S.A.	1.674
Tereza Cristina	22/11/1996	Ferrovía Tereza Cristina S.A.	164
Sul	13/12/1996	Ferrovía Sul-Atlântica S.A.	6.586
Paulista	10/11/1998	FERROBAN-Ferrovias Bandeirantes S.A.	4.236
Oeste	05/03/1996	Ferrovía Novoeste S.A.	1.621

Fonte: CNT (2013).

Embora as concessões da antiga malha da RFFSA tenham acontecido apenas a partir de 1996, vale ressaltar que a União já havia concedido outras ferrovias à iniciativa privada antes como, por exemplo, a Ferrovia Norte-Sul, concedida à Valec (Engenharia, Construções e Ferrovias S.A) em 1987. A Ferroeste, do Paraná, detém a concessão da ferrovia desde 1988. Já as Estradas de Ferro Carajás e Vitória-Minas, ferrovias que hoje são referência internacional, foram outorgadas à Vale (antiga Companhia Vale do Rio Doce) em 1997 em face ao processo de privatização da empresa (CNT, 2013).

2.1.1 Caracterização e contexto atual brasileiro

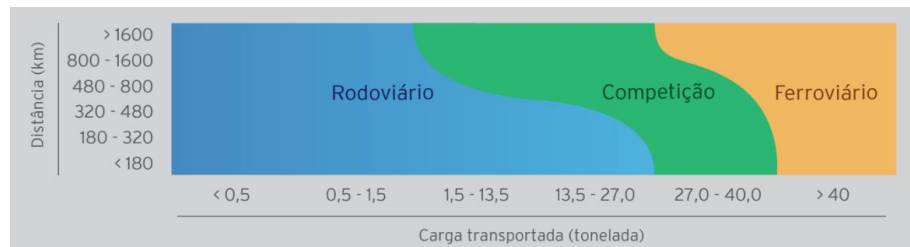
Como caracteriza Rosa (2016), o transporte ferroviário consiste num sistema autoguiado, ou seja, os veículos que trafegam sob trilhos não possuem mobilidade e, portanto, podem tomar apenas uma direção. O autor caracteriza a ferrovia como o conjunto de quatro elementos: três elementos físicos e um virtual. Os primeiros dizem respeito à via permanente, ao material rodante e aos sistemas de comunicação e sinalização; o elemento virtual, por sua vez, consiste na operação ferroviária.

O modo de transporte é largamente empregado em alguns países pois, de acordo com certas características, como dimensões continentais de território ou o

transporte de *commodities*, a ferrovia se destaca na sua eficiência. A Confederação Nacional de Transportes aponta que a principal vantagem do transporte ferroviário diz respeito à sua grande capacidade de carga. Ademais, quando essa característica é combinada com o transporte a médias e longas distâncias, as ferrovias ganham das rodovias.

A Figura 1 apresenta um gráfico que expressa essa relação de competição entre os modos ferroviário e rodoviário, levando em conta a distância percorrida em quilômetros e a carga transportada em tonelada.

Figura 1 – Competição dos modos de transporte rodoviário e ferroviário



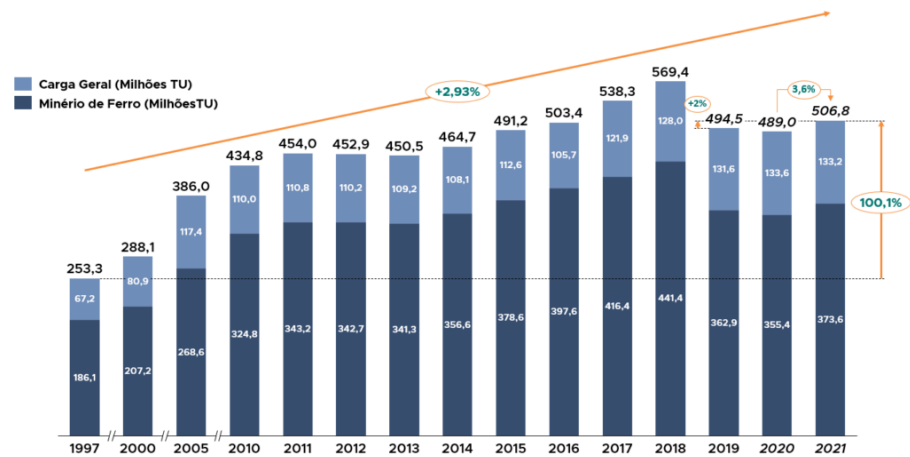
Fonte: CNT (2013).

2.1.1.1 Produtividade do setor ferroviário

De acordo com dados da ANTF (Associação Nacional de Transportadores Ferroviários, 2021), uma organização sem fins lucrativos formada por algumas concessionárias de ferrovias, o setor no Brasil voltou a crescer depois do período de pandemia da COVID-19. Apenas no ano de 2021, foram 506,8 milhões de toneladas úteis movimentadas nas ferrovias brasileiras, sendo cerca de 73% desse valor representando o minério de ferro. Houve um aumento de 3,6% se comparado aos números de 2020, com um total de 489 milhões de toneladas.

A Figura 2 traz um histórico da movimentação de carga pelas ferrovias brasileiras desde 1997, início da retomada do setor pela iniciativa privada, até o ano de 2021.

Figura 2 – Histórico de Movimentação de Cargas nas Ferrovias Brasileiras



Fonte: ANTF (2021).

O histórico apresenta um crescimento lento nas toneladas úteis transportadas quando se analisa o seu maior valor, em 2018. No entanto, é preciso destacar que em janeiro de 2019 houve o rompimento de uma das barragens da Vale, culminando numa das maiores catástrofes ambientais do país na cidade mineira de Brumadinho, deixando 270 mortos e, quatro anos depois da tragédia, três vítimas ainda estão desaparecidas (MANSUR, 2022).

Esse acidente é representado no histórico ao comparar os números entre 2018 e 2019, onde as toneladas úteis de carga geral seguiram aumentando, mas a movimentação de minério de ferro sofreu uma decaída por esse motivo, sendo a Vale uma das maiores transportadoras de minério do país.

A ANTF também traz dados para fins de comparação entre os modos de transporte, onde um vagão graneleiro do modelo HPT possui capacidade de transportar aproximadamente 100 toneladas — o equivalente a três caminhões graneleiros, com capacidade aproximada de 33 toneladas. A movimentação de carga por si só seria uma grande vantagem para o uso de ferrovias, considerando que uma composição ferroviária pode conter centenas de vagões, o que acarreta numa capacidade de transporte muito superior às frotas de caminhões.

2.1.1.2 Índice de Acidentes

Outra grande vantagem das ferrovias é o baixo índice de acidentes. Possuindo uma operação muito mais controlada, a ocorrência de acidentes nas ferrovias é registrada pelo Índice de Acidentes Ferroviários (IAF), que é medido por acidentes por milhão de trens-quilômetro, ou seja, a razão entre a quantidade de ocorrências pelo produto entre o número de composições formadas e a extensão percorrida por elas (BUZZI, 2019).

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) elenca um histórico anual de dados do IAF por concessionária, o qual é apresentado na Tabela 2, com dados referentes ao ano de 2021.

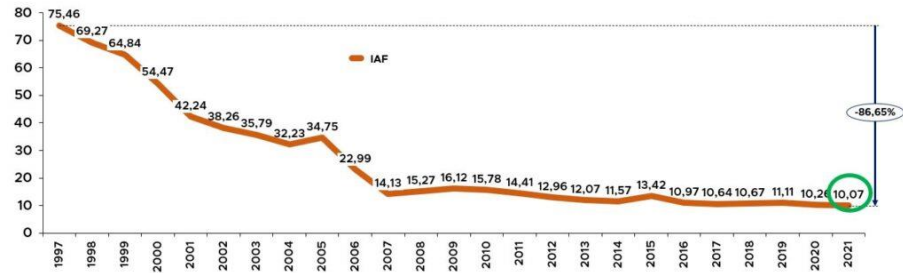
Tabela 2 – Índice de Acidentes Ferroviários por concessionária em 2021

Concessionária	Índice de Acidentes (acidentes por milhão de trem.km)
EFC	1,21
EFPO	0,00
EFVM	2,24
FCA	19,35
FNSTN	5,79
FTC	30,06
FTL	60,61
MRS	8,56
RMN	2,47
RMO	18,12
RMP	9,60
RMS	21,09

Fonte: ANTT (2021).

A ANTF, por sua vez, também faz esse acompanhamento do IAF, mas apenas com suas concessionárias associadas (Figura 3). No entanto, é nítido uma diminuição constante do índice, principalmente ao compará-lo com o início das concessões ferroviárias no fim da década de 1990, com uma redução de 86,65% entre 1997 e 2021.

Figura 3 – Histórico do IAF das associadas à ANTF



Fonte: ANTF (2021).

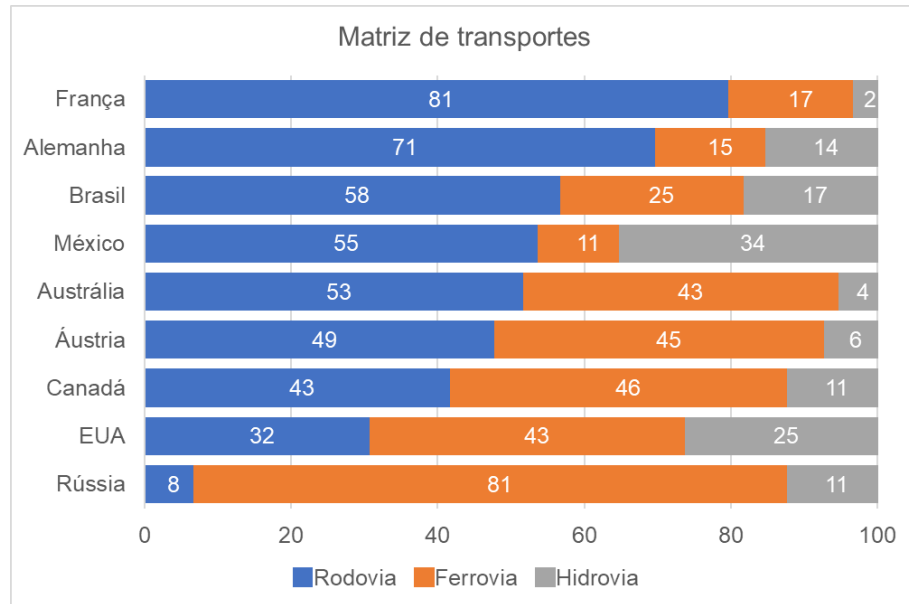
2.1.1.3 A ferrovia na matriz nacional de transportes

Ainda que a vantagem prevaleça no Brasil, visto que é um país com um vasto território, as ferrovias ainda têm muito espaço para crescer. Dados da ANTT expressam que a malha ferroviária brasileira, atualmente, soma cerca de 30.612,1 quilômetros, espalhadas pelas concessionárias de norte a sul. No entanto, em termos de densidade ferroviária, que leva em conta o tamanho de seu território, o país ainda tem números muito pequenos se comparado a outros países de grande território, como os Estados Unidos ou o Canadá.

Este primeiro, por exemplo, apresenta uma malha ferroviária que chega aos 293 mil quilômetros, quase dez vezes maior que a malha brasileira, o que lhe confere uma densidade de 29,86 quilômetros de ferrovia para cada 1.000 quilômetros quadrados de área territorial. O Brasil, por sua vez, apresenta uma densidade de malha ferroviária de 3,62 quilômetros de ferrovia para a mesma parcela de território (ANTF, 2021).

Isso se reflete, também, no quão presente é o transporte ferroviário na matriz de transportes do país. No Plano Nacional de Logística e Transporte, do Ministério de Transportes, há uma comparação dessa participação dos modos ferroviário, rodoviário e aquaviário na matriz nacional de alguns países e, exceto pela França, Alemanha e o México, o Brasil se encontra com uma participação da malha ferroviária abaixo dos outros países.

Figura 4 – Comparação da matriz de transportes de alguns países



Fonte: Adaptado de PNLT (2012).

2.1.1.4 Regulação e fiscalização

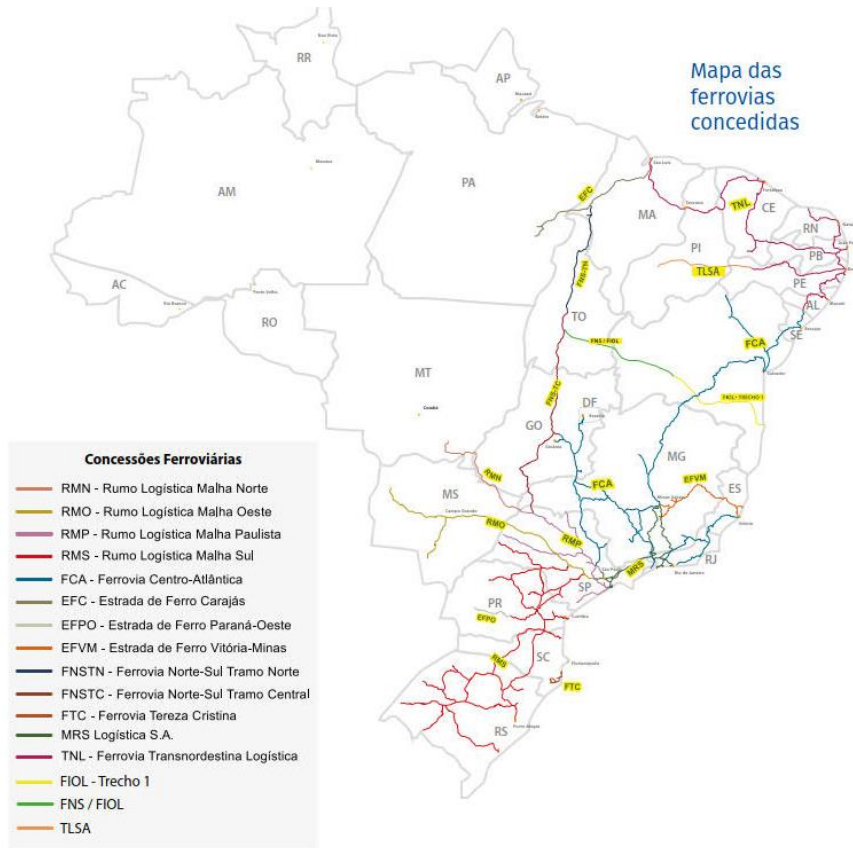
No que diz respeito à regulamentação e fiscalização do transporte ferroviário de cargas no Brasil, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, criada em 2001 pela Lei nº 10.233, é responsável pela execução das políticas públicas, atuando na criação de normas e no controle da aplicação dessas normas por parte das concessionárias (ANTT, 2022).

De acordo com seus dados institucionais, a ANTT é responsável por elaborar os editais pertinentes às concessões, realizar os leilões, bem como as prorrogações antecipadas de contrato. No que tange à fiscalização, a agência verifica o cumprimento das normas e dos contratos vigentes, certificando-se da adequada prestação do serviço público de transporte ferroviário de cargas.

Ela também regula e fiscaliza o transporte ferroviário regular de passageiros, realizado nas Estradas de Ferro Carajás e Vitória-Minas, bem como os trens turísticos e culturais (ANTT, 2022).

A Figura 5 apresenta o mapa ferroviário do Brasil, dividido pelas concessionárias regularizadas e fiscalizadas pela ANTT.

Figura 5 – Mapa das ferrovias concedidas no Brasil



Fonte: ANTT (2022).

2.1.1.4.1 Concessionárias ferroviárias brasileiras

2.1.1.4.1.1 Vale S.A

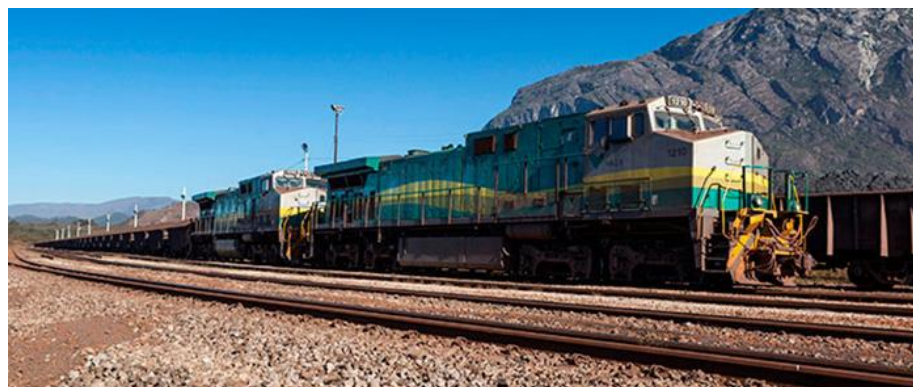
A antiga Companhia Vale do Rio Doce, atualmente Vale S.A, foi criada em junho de 1942, por meio do Decreto nº 4.352 assinado pelo então presidente Getúlio Vargas, encampando a Companhia Brasileira de Mineração e Siderurgia e a Companhia Itabira de Mineração. Hoje, no entanto, a Vale S.A atua também nos ramos de logística, siderurgia e energia – sendo uma das maiores mineradoras do mundo (VALE, 2023).

A empresa opera cerca de 2 mil quilômetros de ferrovias no território brasileiro, divididas em dois corredores ferroviários. A Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), com 905 quilômetros, liga a capital mineira a Vitória, no Porto de Tubarão. A Estrada

de Ferro Carajás (EFC), por sua vez, conta com 972 quilômetros, ligando as minas de Carajás, no estado do Pará, até o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, no estado do Maranhão. Tanto a EFVM como a EFC também apresentam um trem de passageiros, oferecendo serviços de transporte com trens de passageiros.

A Figura 6 apresenta uma composição da Vale na Estrada de Ferro Vitória Minas, que escoar as produções do interior de Minas Gerais até o Porto de Tubarão, no Espírito Santo.

Figura 6 – Estrada de Ferro Vitória Minas



Fonte: Vale (2015).

2.1.1.4.1.2 *Ferrovias Tereza Cristina (FTC)*

A Ferrovias Tereza Cristina cuida da malha ferroviária do sul de Santa Catarina, contando com uma extensão de 164 quilômetros que passa por catorze municípios catarinenses: Imbituba, Laguna, Pescaria, Brava, Capivari de Baixo, Tubarão, Sangão, Jaguaruna, Içara, Criciúma, Siderópolis, Morro da Fumaça, Cocal do Sul, Urussanga e Forquilha (FTC, [s.d.]).

Suas malhas consistem em quatro trechos: a Linha Tronco, que liga Imbituba e Criciúma; o Ramal Oficinas, ligando Tubarão às oficinas; Ramal Urussanga, que liga Esplanada a Urussanga e, por fim, o Ramal Treviso, que interliga Criciúma e Siderópolis. A FTC conta com 17 locomotivas, com capacidades que vão desde 540 toneladas a 1650 toneladas (FTC, [s.d.]).

A sede da concessionária está localizada no município catarinense de Tubarão, e na Figura 7 está representada uma das composições transportando carvão.

Figura 7 – Ferrovia Tereza Cristina



Fonte: FTC (2022).

2.1.1.4.1.3 *Ferrovia Transnordestina Logística (FTL)*

A Ferrovia Transnordestina Logística foi a concessionária responsável pela malha nordeste com o desmembramento da RFFSA, e transporta cargas no modo ferroviário há 22 anos. Hoje a FTL conta com uma extensão de 1.237 quilômetros de ferrovia, ligando portos entre os estados do Maranhão e Ceará, mas operando também nos estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A empresa conta com 105 locomotivas e 1.377 vagões em sua frota e, só no ano de 2021, ela movimentou 2,9 milhões de toneladas, sendo as principais cargas a celulose, combustíveis e cimento (CSN, 2023).

A empresa é controlada pela Companhia Siderúrgica Nacional, que também controla a Transnordestina Logística S.A, que vai interligar o sertão do Piauí aos portos de Pecém e Suape, localizados nos estados do Ceará e Pernambuco, respectivamente. A obra conta com recursos tanto da Companhia Siderúrgica Nacional, como também da Valec, Finor, BNDES, BNB e Sudene. Terá uma capacidade de 30 milhões de toneladas por ano, com enfoque nos granéis sólidos como o minério de ferro e grãos agrícolas (CSN, 2022).

Figura 8 – Ferrovia Transnordestina S.A



Fonte: CSN (2022).

2.1.1.4.1.4 *MRS Logística*

A MRS Logística é a concessionária que administra 1.643 quilômetros de ferrovia na região sudeste, nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, uma importante região para a economia do país, pois concentra cerca de metade do PIB brasileiro. Sua produção é diversificada, envolvendo contêineres, produtos siderúrgicos, cimento, grãos, carvão, minério de ferro, bauxita e coque (MRS, [s.d.]).

A malha ferroviária da MRS Logística representa 6% da malha nacional e se localiza numa região muito estratégica do país, ligando pontos de produção no país aos grandes centros, como São Paulo, e aos cinco dos maiores portos do país, incluindo Santos. Para isso, a empresa conta com uma frota de 19 mil vagões e 770 locomotivas (MRS, [s.d.]).

2.1.1.4.1.5 *Rumo Logística*

A Rumo Logística foi criada em 2008 e, hoje em dia, sua malha ferroviária soma quase 14 mil quilômetros de linhas, interligando regiões produtoras aos três portos principais do Brasil (RUMO, [s.d.]).

Entre as cargas movimentadas nas ferrovias da Rumo, destacam-se os *commodities* agrícolas, cuja empresa é responsável por transportar 26% do volume de grãos exportados pelo país. Além disso, a empresa transporta combustíveis e produtos industrializados de diferentes segmentos da indústria, como a siderurgia e a construção civil. Na Figura 9 está representada a estrutura logística da Rumo (RUMO, [s.d.]).

Figura 9 – Estrutura logística da Rumo



Fonte: Rumo Logística.

2.1.1.4.1.6 VLI Logística

Nascendo como uma subsidiária da Vale em 2010, a VLI opera a Ferrovia Centro-Atlântica e tem o objetivo de integrar portos e ferrovias para o transporte de cargas gerais. Atualmente, as ações da VLI são da Vale Brookfield, Mitsui, Fundo de

Investimento do FGTS (FI-FGTS) e de uma *holding* do Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDESPar), com a Vale possuindo a maior porcentagem delas com uma parcela de 29,6% (VLI, 2021).

O transporte ferroviário da VLI passa pelas regiões norte, nordeste, sudeste e centro-oeste do país e, para isso, a empresa conta com 800 locomotivas e 24 mil vagões para o transporte de carga geral nos seus 8 mil quilômetros de ferrovia (VLI, 2021).

2.1.1.4.1.7 Ferroeste

Criada em 1988, a Ferroeste, ou Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A, é uma sociedade de economia mista cujo governo do Paraná detém a maior parte de suas ações. A ferrovia transporta cerca de 1,5 milhão de toneladas por ano, tendo os grãos agrícolas como principal carga, até o Porto de Paranaguá, no litoral paranaense. A Figura 10 apresenta a malha ferroviária da Ferroeste (FERROESTE, [s.d.]).

Figura 10 – Malha ferroviária da Ferroeste



Fonte: Ferroeste.

2.1.1.5 Cargas movimentadas

Existem vários tipos de cargas movimentadas pelo transporte ferroviário e elas podem ser categorizadas em dois grupos: a carga geral e a carga a granel. A carga geral é identificada como uma unidade, como blocos de granito ou placas de

ação, por exemplo. Devido a essa característica, elas sofrem um processo de unitização, que é o agrupamento de diversas cargas em um grande volume único, movimentado de uma só vez. Dessa forma, as cargas gerais podem ser unitizadas em pallets, big bags ou containers. A carga a granel, diferente da geral, não pode se distinguir em unidades, mas sim por volume ou peso. Alguns exemplos das cargas a granel são o minério de ferro, a soja ou combustíveis (ROSA, 2016).

A Tabela 3 expressa as diferentes cargas movimentadas pelas ferrovias brasileiras, em toneladas úteis, de 2016 a 2020.

Tabela 3 – Tipos de cargas movimentadas nas ferrovias brasileiras (TU)

	2016	2017	2018	2019	2020	Participação média (%)
Minério de Ferro	397.639	416.367	441.376	362.917	355.413	75,81%
Aduos e Fertilizantes	4.340	3.761	3.953	4.918	5.353	0,87%
Extração vegetal e celulose	6.956	7.935	9.371	8.874	9.812	1,66%
Produção agrícola	10.486	18.211	15.088	21.399	18.725	3,25%
Açúcar	14.359	14.018	12.467	10.405	15.825	2,59%
Soja e farelo de soja	22.820	30.014	38.864	35.412	35.099	6,24%
Outros - produção agrícola	0	0	0	15	13	0,00%
Carvão/coque	9.743	10.328	10.581	10.042	10.257	1,96%
Cimento	2.880	2.568	2.535	2.634	2.522	0,51%
Granéis minerais	7.031	7.397	6.946	6.123	6.309	1,30%
Indústria do cimento	2.100	1.599	1.526	1.896	1.829	0,35%
Indústria siderúrgica	14.446	15.429	15.769	16.062	14.765	2,95%
Combustíveis e derivados	8.686	8.866	8.772	8.600	8.192	1,66%
Carga Geral - Não Containerizada	72	52	44	34	50	0,01%
Container	3.623	3.678	4.328	5.141	5.069	0,85%
Demais produtos	4	13	0	21	68	0,00%
Total	505.184	540.238	571.621	494.493	489.302	100,00%

Fonte: ANTT (2020).

Como pode ser observado na Tabela 3, as principais cargas movimentadas no Brasil pelo transporte ferroviário são *commodities*, ou seja, produtos de baixo ou médio valor agregado. O minério de ferro lidera a lista, representando 75,81% das cargas movimentadas entre 2016 e 2020; em segundo lugar, nota-se a soja e farelo

de soja, com uma representação média de 6,24% nesses cinco anos. Por fim, ressaltam-se os produtos agrícolas, os siderúrgicos e o açúcar.

2.1.2 Características do transporte ferroviário de cargas

O transporte ferroviário é, em suma, um sistema de transporte teleguiado, onde os veículos trafegam em duas guias dispostas paralelamente. Podendo transportar passageiros e cargas, a capacidade de uma ferrovia pode cobrir qualquer distância (PYRGIDIS, 2016).

O estudo do transporte ferroviário é, como aponta Profillidis (2014), interdisciplinar, exigindo competências das engenharias civil, mecânica e elétrica, bem como competências dos setores da economia e da gestão. Assim, seguindo a organização que a rede ferroviária apresenta, o estudo da ferrovia habitualmente é dividido em três tópicos: a via permanente, o material rodante e a operação ferroviária.

No que tange à via permanente, são tratados tópicos como a infraestrutura da via, a superestrutura – que consiste nos trilhos, dormentes, elementos de fixação e lastro – e o subleito. Além da segurança e da manutenção, aqui também são estudados os *layouts* da via, estações ferroviárias, aparelhos de mudança de via (AMV) e passagens de nível. O material rodante, por sua vez, abrange as locomotivas, os vagões e as máquinas de via. Por fim, a operação trata da organização do transporte, as escalas, a otimização dos vagões e locomotivas e assuntos pertinentes à segurança operacional. Há um outro tópico, também, que diz respeito à sinalização, que abrange a telecomunicação e a eletrificação da via (PROFILLIDIS, 2014 e ROSA, 2016).

Ao longo desta seção, portanto, serão abordados apenas os três primeiros tópicos de forma mais minuciosa, tratando-se primeiro da revisão técnica a respeito da via permanente, do material rodante e da operação ferroviária. Por fim, faz-se uma discussão sobre os indicadores de desempenho de uma ferrovia.

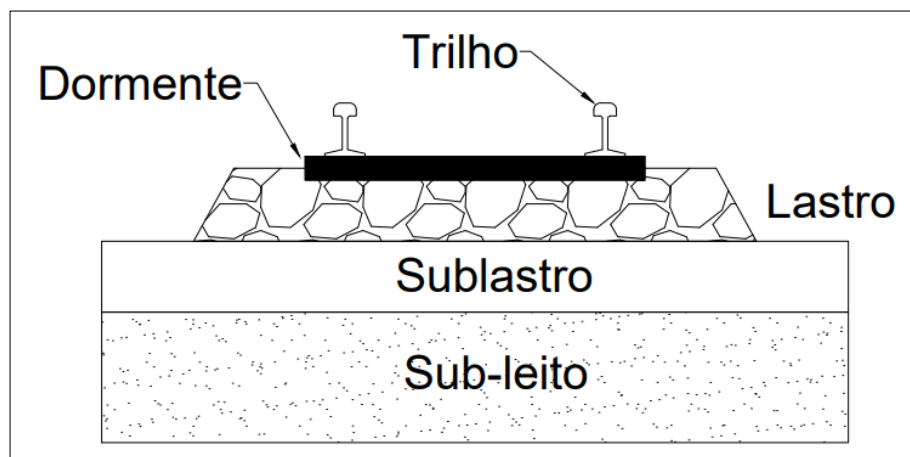
2.1.2.1 Via permanente

A infraestrutura da via permanente, como aponta Brina (1988), é constituída pela terraplenagem e, de um modo geral, todas as obras que se situam abaixo dela,

como a drenagem. Já a superestrutura, que é onde ocorre a movimentação dos veículos ferroviários, é composta por quatro elementos principais: o lastro, o sublastro, os dormentes e os trilhos.

A Figura 11 apresenta um modelo esquemático dos componentes da via permanente.

Figura 11 – Componentes da via permanente



Fonte: Adaptado de Profillidis (2014).

2.1.2.1.1 Lastro e sublastro

O sublastro é a primeira camada da superestrutura de uma ferrovia e, de acordo com Brina (1988), é utilizado para baratear o custo da obra, já que o material que usualmente compõe o lastro é utilizado em grandes quantidades e mais caro. Assim, ao utilizar uma camada de sublastro, com materiais mais acessíveis, a obra se torna mais econômica.

Como aponta Brina (1988), algumas características do sublastro:

1. O sublastro evita que o lastro penetre na plataforma;
2. Eleva a resistência à erosão da superestrutura;
3. Confere elasticidade ao lastro;
4. Aumenta a capacidade da via permanente.

Ademais, Profillidis (2014) explica que o sublastro é composto de cascalho e areia e, além de prover capacidades de drenagem da água da chuva, ele protege a plataforma de terraplenagem das pedras que compõem o lastro.

Já o lastro, por sua vez, é a camada que vem imediatamente após o sublastro, responsável por acomodar os dormentes e impedir seu deslocamento, tanto longitudinal como transversal. Além disso, o lastro apresenta a importante função de distribuir mais uniformemente as cargas que resultam dos veículos ferroviários (BRINA, 1988).

Sem a presença do lastro, explica Hay (1982), os dormentes não suportariam as cargas concentradas do tráfego ferroviário e penetrariam na plataforma de terraplenagem. Além disso, tal qual o sublastro, a água da chuva é drenada mais rapidamente pelas pedras do lastro, evitando acúmulos na superfície da via permanente e, conseqüentemente, a deterioração mais rápida dos demais componentes da via.

As espessuras dessas duas camadas são definidas em projeto, levando em conta os materiais à disposição para as compor, bem como os fatores de operação da via permanente, como a carga por eixo de projeto e a bitola, ou seja, a distância entre os trilhos.

2.1.2.1.2 Dormentes

Os dormentes são os componentes da via onde os trilhos são fixados, servindo também para redistribuir os esforços dos trilhos para o lastro. São os dormentes que permitem que a bitola não varie ao longo da via (BRINA, 1988).

Em ferrovias eletrificadas, comenta Profillidis (2014), os dormentes também devem prover o isolamento elétrico de um trilho para com o outro. Sendo elementos instalados transversalmente em relação aos trilhos, os dormentes de madeira foram os primeiros a serem empregados no começo. Depois disso, por volta de 1880, os dormentes de metal foram introduzidos, mas com uma aplicação muito reduzida. Posteriormente, com os avanços na tecnologia do concreto em 1950, começou a fabricação e utilização de dormentes desse material na via permanente.

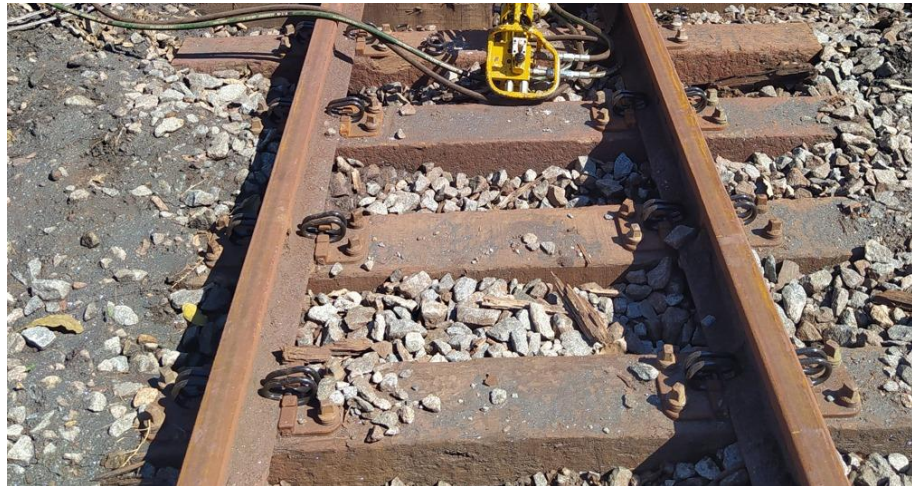
2.1.2.1.2.1 *Dormentes de madeira*

O dormente de madeira foi, sem dúvida, o mais empregado nas ferrovias por mais de cem anos, principalmente pelo fato de ser um material comumente

encontrado ao longo das áreas de implantação de ferrovias. Entre outras vantagens, os dormentes de madeira distribuem melhor os esforços provenientes do tráfego ferroviário para o lastro e são recomendados na presença de um subleito com material de baixa qualidade. No entanto, esse tipo de componente pode sofrer efeitos de corrosão tanto química quanto física por estar exposto às intempéries, como também são propensos a ataques de fungos e insetos (PROFILLIDIS, 2014).

Outras vantagens dos dormentes de madeira, de acordo com Santos (2021), é o fácil manuseio devido ao seu peso relativamente menor, se comparado aos de aço ou concreto. Sua substituição é fácil, o que influencia no tempo de reestabelecimento do tráfego na via.

Figura 12 – Dormente de madeira



Fonte: Autor (2023).

2.1.2.1.2.2 *Dormentes de aço*

Os dormentes de aço, por sua vez, são fabricados em perfis no formato de “U” invertido e possuem uma aba nas extremidades para melhor fixação no lastro. São feitos com aço de baixo carbono e são de fácil fabricação, apresentando também uma instalação e manutenção mais descomplicada, podendo durar de 30 a 60 anos. Apresentam, no entanto, uma baixa resistência transversal, o que pode influenciar na velocidade máxima adotada nas ferrovias que usam dormentes dessa composição (PROFILLIDIS, 2014).

Apesar da metalurgia estar sempre se renovando com novas tecnologias e processos de fabricação, Santos (2021) apresenta várias desvantagens no uso de dormentes de aço. Seu custo de aquisição é elevado se comparado aos outros tipos, há geração excessiva de ruídos no tráfego e, como são condutores elétricos, há a necessidade de isolamento na interface entre o trilho e o dormente. Além disso, em regiões úmidas ou com maresia, podem apresentar um processo de corrosão mais acelerado.

Figura 13 – Dormente de aço



Fonte: ANTF.

2.1.2.1.2.3 *Dormentes de concreto*

Os dormentes de concreto, por fim, podem ser de dois tipos: monobloco ou bibloco. O primeiro apresenta um formato de dormente convencional, como uma viga, ao passo em que o bibloco é composto por dois blocos de concreto ligados por uma barra. Podem ser de concreto convencional, armado ou protendido (SANTOS, 2021).

O dormente bibloco, de acordo com Profillidis (2014), implica numa camada de lastro maior e de maior resistência se comparado ao uso dos dormentes de madeira. No entanto, devido à barra de conexão, esse elemento requer uma manutenção mais diferenciada, pois a aderência dos blocos à barra precisa sempre ser verificada.

Figura 14 – Dormentes de concreto bibloco – Ferrovia Tereza Cristina



Fonte: Santos (2021).

O dormente monobloco, por sua vez, permite uma variedade maior de geometrias de seção. Apresenta um comportamento similar ao do dormente bibloco, com ambos durando em torno dos 50 anos. A sua resistência transversal é superior aos dormentes de madeira, o que permite velocidades de operação maiores na ferrovia (PROFILLIDIS, 2014).

Figura 15 – Dormente de concreto monobloco - Ferrovia Tereza Cristina



Fonte: Santos (2021).

2.1.2.1.3 Trilhos

O trilho é o elemento da superestrutura que suporta diretamente o veículo ferroviário, guiando-o ao longo da via. A seção transversal do trilho apresenta três regiões: o boleto, que é a superfície de rolamento do trilho, onde há o contato com a roda dos veículos; o patim, que é a base onde se apoia o trilho aos dormentes e, por fim, a alma, que interliga essas duas regiões e apresenta uma área mais estreita (SANTOS, 2021).

Figura 16 – Seção transversal do trilho



Fonte: Santos, 2021.

As duas principais funções do trilho, como aponta Adersson et al. (2005), são servir de superfície de rolamento e suportar a carga de transporte. Assim, esses componentes precisam ter um design que suporte as cargas estáticas e dinâmicas em todas as suas três direções, para que a transferência de tensões ocorra do trilho para o dormente e deste último para o lastro de forma eficiente. Os perfis de trilhos mais usados atualmente foram introduzidos pelo engenheiro inglês Charles B. Vignoles em 1837, apresentando um perfil de base mais achatada. Por esse motivo, esse tipo de trilho ficou conhecido como *trilho Vignole*.

No Brasil, a classificação dos trilhos pode ser vista na Tabela 4, apresentada por Santos (2021).

Tabela 4 – Classificação brasileira de trilhos ferroviários

Tipo Nominal Brasileiro		TR-25	TR-32	TR-37	TR-45	TR-50	TR-57	TR-68
Correspondente americano		5040 ASCE	6540 ASCE	7540 ASCE	9020 ASCE	10025 ASCE	11525 ASCE	13637 ASCE
Peso Calculado (Kg/m)		24,654	32,045	37,105	44,645	50,349	56,897	67,56
Porcentagem da massa total	Boleto	42,0	42,0	42,0	36,2	38,2	34,8	36,4
	Alma	21,0	21,0	21,0	24,0	22,6	27,1	31,47
	Patim	37,0	37,0	37,0	39,8	39,2	38,1	36,5
Área total da seção (cm ²)		31,42	40,84	47,29	56,9	64,19	72,58	86,12

Fonte: Santos (2021).

Os trilhos vêm em barras com 12 ou 18 metros de comprimento e, para que exista uma continuidade ao longo da via, eles podem ser soldados uns aos outros ou emendados por meio de talas de junção. A solda apresenta uma melhor qualidade na junção dos trilhos, provendo uma superfície mais uniforme para a passagem dos veículos, mas também apresenta um custo muito elevado. Assim, no Brasil, é comum utilizarem talas de junção, instaladas entre as extremidades de um trilho e outro para proverem a fixação entre eles (SANTOS, 2021).

Figura 17 – Talas de junção



Fonte: Autor (2023).

Além das talas de junção, alguns outros acessórios de fixação são os parafusos, que fixam as talas entre os trilhos; e as placas de apoio, que servem como acessório intermediário entre o trilho e o dormente com a principal função de aumentar a área de apoio entre as superfícies. Ademais, os trilhos se fixam nos dormentes através de acessórios que podem ser rígidos ou flexíveis: os primeiros são os *tirefonds*, parafusos rosqueados, ao passo em que os flexíveis são grampos de aço, denominados de fixação *Pandrol*, *Denick*, *McKay* ou *Vossloh* (SANTOS, 2021).

Figura 18 – Fixação Pandrol

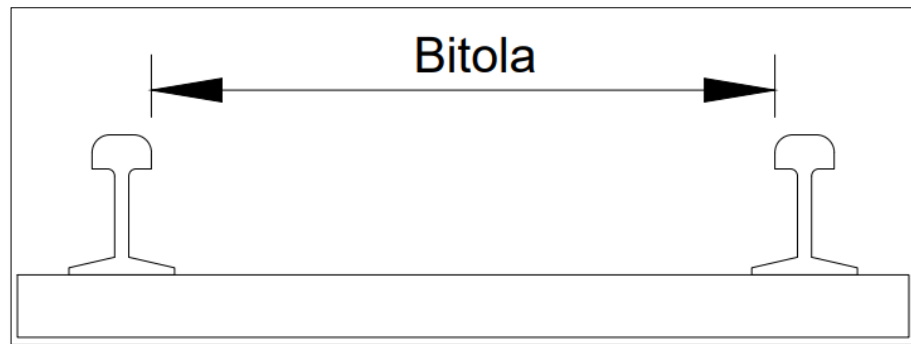


Fonte: Autor (2023).

2.1.2.1.3.1 Bitola

A bitola é um aspecto importante de uma ferrovia, pois além de caracterizá-la, é o parâmetro que dita toda a caracterização do tráfego ferroviário na via permanente, como o material rodante, a velocidade e a capacidade de carga da ferrovia. Como Brina (1988) define, a bitola corresponde à distância entre as faces internas dos trilhos, medidas 12 mm a partir do topo do boleto.

Figura 19 – A medida da bitola



Fonte: Adaptado de Andersson et al. (2005).

Ao longo da história das ferrovias, muito se discutiu sobre a melhor medida a ser adotada para a bitola. O inventor inglês George Stephenson introduziu, em 1825, a *bitola padrão*, que media 1435 mm. Além dessa, existem as bitolas métricas, com 1000 mm; as chamadas bitolas largas, com medidas em torno dos 1600 mm e as bitolas estreitas, com medidas de 700 ou 800 mm (SANTOS, 2021).

No Brasil, grande parte das ferrovias apresentam bitolas métricas ou largas, como mostra um levantamento da ANTT de 2015, apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Extensão da malha ferroviária brasileira por bitola

Operadoras Reguladas pela ANTT	Origem	Bitola (extensão em km)			Total
		1,6	1	Mistura	
ALLMN - América Latina Logística Malha Norte	-	735	-	-	735
ALLMO – América Latina Logística Malha Oeste	RFFSA	-	1.953	-	1.953
ALLMP - América Latina Logística Malha Paulista	RFFSA	1.533	305	269	2.107
ALLMS – América Latina Logística Malha Sul	RFFSA	-	7.223	-	7.223
EFC – Estrada de Ferro Carajás	-	997	-	-	997
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas	-	-	888	-	888
FCA – Ferrovia Centro-Atlântica	RFFSA	-	7.085	130	7.215
FNS S/A -Ferrovia Norte-Sul TRAMO NORTE (VALEC-Subconcessão)	-	745	-	-	745
FERROESTE – Estrada de Ferro Paraná Oeste	-	-	248	-	248
FTC – Ferrovia Tereza Cristina	RFFSA	-	163	-	163
MRS – MRS Logística	RFFSA	1.708	-	91	1.799
FTL S/A - Ferrovia Transnordestina Logística	RFFSA	-	4.257	20	4.277
VALEC/Subconcessão: Ferrovia Norte-Sul TRAMO CENTRAL	-	815	-	-	815

Operadoras Reguladas pela ANTT	Origem	Bitola (extensão em km)			Total
		1,6	1	Mista	
Subtotal	-	6.533	22.122	510	29.165
Demais Operadoras	Origem	Bitola			Total
		1,6	1	Mista	
Comp. Bras. de Trens Urbanos – CBTU – Passageiros	-	57	149	-	206
Supervia/CPTM/Trensurb/METRO-SP RJ – Passageiros	-	832	22	-	854
Trombetas/Jarí/Amapa - Carga	-	70	230	-	300
Corcovado/Campos do Jordão	-	-	51	-	51
Subtotal	-	959	452	-	1.411
TOTAL	-	7.492	23.027	510	30.576

Fonte: Anuário ANTT (2015).

2.1.2.2 *Material rodante*

O material rodante, de acordo com Rosa (2016), compreende todos os equipamentos e veículos que trafegam pela via permanente. Eles se deslocam pelos trilhos através de sua aderência com as rodas e, de um modo geral, são divididos em duas categorias: material de tração, utilizados como força motriz no sistema ferroviário, e o material rebocado que, no contexto do transporte ferroviário de cargas, consiste nos vagões.

2.1.2.2.1 *Material de tração*

A locomotiva é o material de tração mais importante num sistema ferroviário, porque é ela que provém a força motriz para que um trem se desloque pela via permanente. Como aponta Profillidis (2014), existem três tipos de tração no sistema ferroviário: a vapor, a diesel e elétrica.

As locomotivas a vapor, totalmente em desuso hoje em dia, remontam ao engenheiro inglês Richard Trevithick, que utilizou uma caldeira instalada sobre quatro rodas para andar sobre trilhos em 1804. Dez anos depois, outro marco para as

ferrovias veio com o também engenheiro inglês George Stephenson, que construiu uma locomotiva a vapor capaz de puxar trinta toneladas (SANTOS, 2021).

Mesmo que a locomotiva a vapor tenha perdurado por mais de 100 anos, ela apresentava muitas desvantagens. Entre elas, aponta Profillidis (2014), uma eficiência energética muito baixa, assim como baixa potência e velocidade também. Além disso, outras desvantagens das primeiras locomotivas eram a emissão de gases e a poluição sonora.

Com isso, a primeira estrada de ferro eletrificada foi proposta no ano de 1879, composta por uma locomotiva tracionada por um motor elétrico que, por sua vez, era alimentado por um trilho central na via. Uma locomotiva elétrica, de modo geral, pode substituir de três a quatro locomotivas a vapor (SANTOS, 2021).

Em 1930, por fim, foi introduzida a tração a diesel no modo ferroviário, com locomotivas movidas por um motor de combustão interna. Elas traziam importantes vantagens em comparação às locomotivas a vapor, como uma melhor eficiência energética, melhores custos de operação e melhor performance em potência e velocidade (PROFILLIDIS, 2014).

Além disso, como aborda Santos (2021), as locomotivas a diesel mais modernas não queimam combustível quando paradas e podem operar com a potência alta sem que as máquinas sofram desgastes. Para efeitos de comparação, de 1997 a 2019 as ferrovias brasileiras apresentaram um aumento de 195% no número de locomotivas a diesel.

2.1.2.2.2 Material rebocado

O material rebocado é, basicamente, composto pelos vagões. Esses veículos apresentam duas partes principais: a caixa, que é onde a carga é transportada e pode ter vários formatos, de acordo com o tipo de carga transportado; e o truque, que é um conjunto de dois eixos, onde um eixo interliga duas rodas (ROSA, 2016).

A Figura 20 representa vagões *gôndolas*, utilizados principalmente para o transporte de granéis sólidos, como o minério de ferro. Na Figura 21, por sua vez, é apresentado um vagão-tanque, específico para o transporte de combustíveis e outros granéis líquidos.

Figura 20 – Vagão gôndola



Fonte: Rosa (2016).

Figura 21 – Vagão-tanque para combustíveis



Fonte: Rosa (2016).

2.1.2.3 Operação ferroviária

Na operação ferroviária está concentrada a organização do transporte e sua interface com a infraestrutura da via e dos pátios para que o sistema, de um modo geral, funcione de maneira eficiente. Rosa (2016) aponta que a operação ferroviária atua para atender a um fluxo de transporte, que corresponde em alguns aspectos como o volume de carga e a origem e o destino do transporte.

Diferente de Profillidis (2014), que demonstra o estudo da ferrovia dividido habitualmente nos tópicos da via permanente, da tração e da operação, Rosa (2016) mostra a operação como uma área que abrange as seguintes três: a via permanente, o material rodante (tração) e a telecomunicação na via. A operação ferroviária, portanto, é o conjunto maior que faz com que as três áreas funcionem em sinergia.

Assim, Rosa (2016) mostra que a operação, diferente das três áreas supracitadas, não lida com os elementos físicos da ferrovia, mas sim com o processo do transporte e os planos de trabalho para que ele ocorra da maneira mais segura, eficiente e econômica possível.

Alguns conceitos pertinentes à operação ferroviária, de acordo com Rosa (2016):

- a. **Equipagem dos trens:** os profissionais capacitados que trabalham na operação de trens, como, por exemplo, inspetores de pátios e maquinistas;
- b. **Composição ferroviária:** o termo geralmente utilizado para trens, geralmente formado por uma ou mais locomotivas que tracionam um ou mais vagões;
- c. **Frente ou Testa:** é a parte dianteira da composição, sempre no sentido de deslocamento;
- d. **Cauda:** parte contrária à frente;
- e. **Engate:** elemento de fixação entre veículos ferroviário, ou seja, locomotivas e vagões;
- f. **Tração simples:** é o sistema onde há apenas uma locomotiva na frente da composição;
- g. **Tração múltipla:** nesse sistema, de duas a cinco locomotivas tomam a frente da composição;

- h. **Tração distribuída:** quando há, além das locomotivas à frente da composição, algumas posicionadas ao longo dela, em posições intermediárias para que os esforços nos engates sejam minimizados;
- i. **Composição com Helper:** é a configuração onde uma locomotiva é acoplada na cauda da composição.

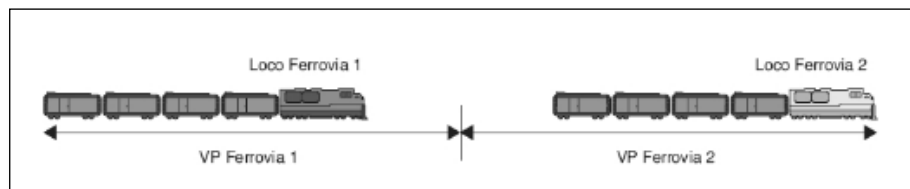
2.1.2.3.1 Tráfego mútuo e direito de passagem

Conceitos de suma importância na operação ferroviária, principalmente com várias concessionárias operando ao longo do território brasileiro, o tráfego mútuo acontece quando a operação de uma certa ferrovia entrega os seus vagões, sem tração, para que outra ferrovia possa dar seguimento ao transporte, utilizando sua própria locomotiva e equipagem (ROSA, 2016).

O conceito de tráfego mútuo é representado na

Figura 22.

Figura 22 – Tráfego mútuo

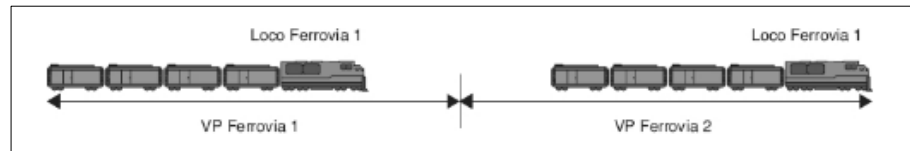


Fonte: Rosa (2016).

O direito de passagem, por sua vez, é quando um trem, com sua própria locomotiva e próprios funcionários, trafegam numa ferrovia que não está sob sua jurisdição, mas obedecendo as normas de sinalização e de licenciamento da ferrovia onde trafegam (ROSA, 2016).

A Figura 23 apresenta o conceito de direito de passagem.

Figura 23 – Direito de passagem



Fonte: Rosa (2016).

2.1.2.3.2 Centro de Controle Operacional (CCO)

O Centro de Controle Operacional funciona, de acordo com Rosa (2016), como um escritório centralizado, isto é, um único local onde a operação da ferrovia é completamente controlada, dispondo de informações da via permanente, como os dados de sua ocupação ou manutenções programadas para algum trecho dela, bem como informações sobre o material rodante que circula, que está disponível ou em oficina.

Assim, reunindo todas essas informações num único lugar, o CCO tem como principal função otimizar todos os recursos da ferrovia, sejam seus ativos (locomotivas, vagões, equipamentos de via), a carga movimentada por ela ou todos os funcionários envolvidos na operação. Além disso, sendo responsável por toda a ferrovia, é o CCO quem dita o melhor momento para a manutenção da via ou de algum ativo (ROSA, 2016).

2.1.2.3.3 Pátios Ferroviários

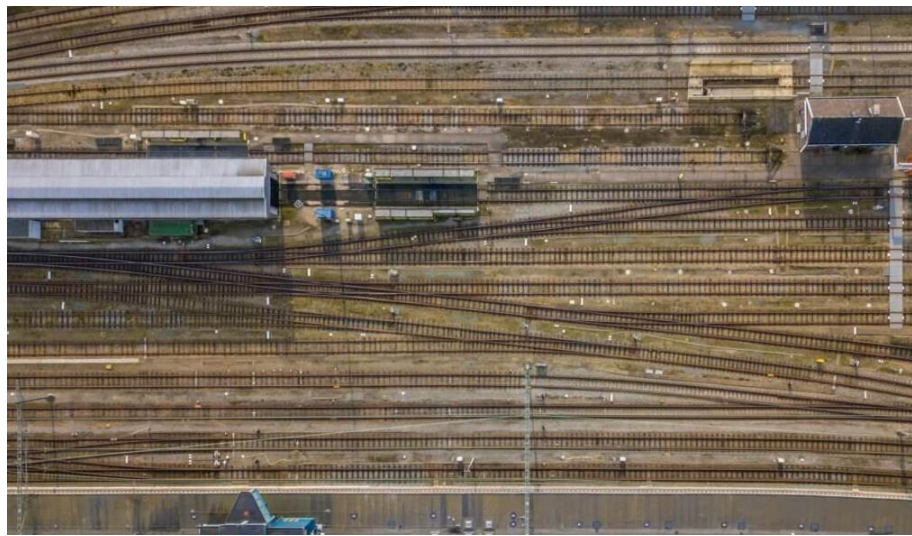
Sendo objetos complexos da operação ferroviária pela sua magnitude, o pátio ferroviário é a área de saída e recebimento de composições ferroviárias, feitas para que estas sejam desmembradas, formadas ou estacionadas. O carregamento e a descarga de produtos também são feitos nos pátios ferroviários (ROSA, 2016).

Os pátios são, de acordo com Rosa (2016), um dos maiores gargalos da operação ferroviária por permitirem que os ativos sejam subutilizados. Entre pátios de cargas diversas, por exemplo, estima-se que 70% das composições de uma ferrovia estejam paradas. Isso traz desvantagens econômicas e operacionais, pois quanto

mais tempo uma composição carregada passa sem descarregar em seu destino, ou que uma composição vazia passa sem transportar carga, é uma perda para a ferrovia.

Assim, o fator mais importante de um pátio ferroviário é sua área, pois precisa-se de vários elementos para sua operação: linhas ferroviárias para o tráfego, manobras e estacionamento de vagões e locomotivas, material rodante para o auxílio dessas operações, áreas de carga e descarga de vagões, entre outros recursos como equipagem, por exemplo (ROSA, 2016).

Figura 24 – Pátio ferroviário



Fonte: Massa (2021).

Existem alguns tipos de pátios ferroviários, e eles são categorizados de acordo com as operações que ocorrem em cada um deles. Os principais são os pátios de oficina, que corresponde às áreas onde estão localizadas as oficinas de vagões e locomotivas, e para onde os ativos são mandados para fazer manutenções; os pátios de manobra, que servem para as operações de manobra de trem, como mudança de sentido; pátio de intercâmbio, mais utilizado no entroncamento entre duas ferrovias para eventuais trocas de ativos (ROSA, 2016).

2.1.2.4 *Indicadores de desempenho de uma ferrovia*

Os indicadores de desempenho – ou *Key Performance Indicators* (KPI), como são comumente conhecidos – são índices utilizados para acompanhar o desempenho de uma ferrovia. Rosa (2016) classifica os indicadores de acordo com seu objetivo:

- Indicadores de produção;
- Indicadores de eficiência energética;
- Indicadores de utilização do material rodante;
- Indicadores de utilização da VP;
- Indicadores de acidentes com patrimônio;
- Indicadores de acidente do trabalho;
- Indicadores de pátios ferroviários.

Como explica Rosa (2016), os indicadores de produção compreendem os índices que mapeiam a movimentação de carga ao longo da ferrovia. Intrinsecamente ligados com o objetivo deste trabalho, que é a pesagem dinâmica no transporte ferroviário de cargas, apenas os indicadores de produção serão abordados daqui em diante. Ainda de acordo com o autor, os principais indicadores de produção são:

2.1.2.4.1 Tonelada útil (TU)

A tonelada útil indica o total de tonelada que a ferrovia transporta efetivamente, calculada como o somatório de cada vagão carregado em cada viagem na ferrovia. A apuração é, usualmente, feita mensalmente, mas depende da concessionária e até mesmo da aplicação da apuração. A Equação 1 representa essa somatória (ROSA, 2016).

$$TU_f = \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m TU_{iv} \quad (1)$$

Em que TU_f representa o indicador de tonelada útil da ferrovia, n representa o número de vagões da ferrovia, m representa o número de viagens de cada vagão na ferrovia. TU_{iv} , por fim, representa a tonelada útil de cada vagão i em uma viagem v da ferrovia (ROSA, 2016).

2.1.2.4.2 Tonelada quilômetro útil (TKU)

Esse índice, de acordo com Rosa (2016), considera a tonelada útil transportada numa ferrovia pela distância que a carga percorre. Isso possibilita comparar ferrovias com extensões de malhas diferentes. A Equação 2 mostra a relação entre a tonelada útil e a quilometragem.

$$TU_f = \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m TU_{iv} * km_{iv} \quad (2)$$

Nota-se que os termos são similares aos da Equação 1, acrescido apenas do termo km_{iv} , que representa o quilômetro percorrido por cada vagão i da ferrovia numa viagem v transportando certo volume TU_{iv} .

2.1.2.4.3 Tonelada quilômetro bruta (TKB)

A tonelada quilômetro bruta, ou TKB, é similar ao indicador de tonelada quilômetro útil. A diferença é que, na TKB, leva-se em conta também a tara dos vagões, promovendo assim uma indicação da tonelada total transportada na ferrovia. A Equação 3 representa a mensuração da tonelada quilômetro bruta (ROSA, 2016).

$$TU_f = \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m TB_{iv} * km_{iv} \quad (3)$$

Nota-se também que a Equação 3, da tonelada quilômetro bruta, é similar à Equação 2. A única diferença é que a tonelada bruta leva em conta a tara dos vagões, indicado pelo termo TB_{iv} .

2.1.2.4.4 Produtividade de locomotiva (TKU/locomotiva)

A produtividade de locomotiva, por sua vez, indica a eficiência operacional das locomotivas na frota, ou seja, o quanto da carga transportada cada locomotiva traciona. A Equação 4 representa essa razão (ROSA, 2016).

$$P_{loco} = \frac{TKU}{N_{loco}} \quad (4)$$

Em que N_{loco} representa o número de locomotivas da frota.

2.1.2.4.5 Produtividade de vagão

A produtividade dos vagões, por fim, indica a eficiência operacional dos vagões de uma frota, de acordo com Rosa (2016). A Equação 5 apresenta essa razão. Ademais, nas empresas de transporte ferroviário de cargas, esse indicador é usualmente chamado de “peso médio”.

$$P_{vagão} = \frac{TKU}{N_{vagão}} \quad (5)$$

2.1.2.5 Balanças ferroviárias

Sabendo dos indicadores de produção e da importância que eles têm para o transporte ferroviário, faz-se necessário um sistema de pesagem dos vagões que seja preciso e ao mesmo tempo traga ganhos operacionais para empresa, como otimizações de tempo e de ativos. Para isso, as empresas utilizam as balanças ferroviárias.

Existem, usualmente na indústria, dois tipos de balança para a pesagem de vagões ferroviários: a balança estática e a dinâmica. Há alguns outros tipos de balanças, como as de fluxo e as por batelada, mas que não serão abordadas neste texto.

Na pesagem estática, de acordo com Ribeiro (2018), é utilizado um modelo de balança onde o vagão ferroviário é pesado estando parado. Ou seja, o vagão precisa ser desengatado, posicionado na balança para que seja pesado para, posteriormente, os demais vagões possam ser pesados sucessivamente.

A pesagem dinâmica, ou pesagem em movimento, consiste na pesagem de vagões ou composições ferroviárias em movimento, possibilitando que trens inteiros sejam pesados sem que os vagões precisem ser desengatados, posicionados e permanecerem estáticos, como no caso da primeira pesagem (COSTA FILHO, 2013).

2.1.2.5.1 Balanças dinâmicas

As balanças ferroviárias dinâmicas, de modo geral, são instrumentos de pesagem automáticos, ou seja, instrumentos utilizados para a determinação da massa de certo corpo utilizando-se da ação da gravidade e seguindo processos automáticos e pré-determinados (MORAIS, 2011).

Morais (2011) discorre, em seu estudo, que as condições aplicadas às balanças são de jurisdição do Inmetro, que era regulamentada através da portaria nº 16/2004. No entanto, essa portaria foi revogada, fazendo com que os fornecedores seguissem apenas a Recomendação Internacional R-106 da OIML, um documento que estabelece inúmeros requisitos para as balanças ferroviárias, cobrindo desde a instalação do instrumento até os testes de calibração.

Um fator importante que a Recomendação Internacional R-106 da OIML estabelece são as classes de precisão para as balanças, que são nomeadas como 0.2, 0.5, 1 e 2. Uma balança pode, inclusive, estar em diferentes classes de precisão para pesagem de vagões e pesagem de trens, por exemplo. Essas classes ditam os erros permissíveis na pesagem em movimento, e podem ser conferidas na Tabela 6.

Tabela 6 – Classes de precisão de balanças

Classes de precisão	Porcentagem de massa do vagão ou trem	
	Verificação inicial	Inspeção em serviço
0.2	± 0.10%	± 0.20%
0.5	± 0.25%	± 0.50%
1	± 0.50%	± 1.00%
2	± 1.00%	± 2.00%

Fonte: OIML (2011).

Para que ocorra a pesagem nas balanças, o trem ou vagão precisa passar pela via onde a balança tenha sido instalada a uma velocidade pré-determinada, e esse valor de carga obtido pode ser referente a cada eixo do vagão, a carga no vagão inteiro ou até mesmo composições ferroviárias completas (MASSA, 2020).

Para as classes mais rígidas, como a de 0.2, faz-se necessário a construção de uma infraestrutura que suporte a região de instalação da balança, de forma a

garantir uma maior estabilidade. Para as demais classes, como as de 0.5 ou 1, não há essa necessidade (MASSA, 2020).

A pesagem em movimento, num geral, ocorre através de um sistema automatizado que utiliza a deformação no trilho causada pelo tráfego ferroviário. Molnár et tal. (2003) foram um dos primeiros a propor um sistema utilizando processadores digitais, e essa solução se baseava na ideia de unidades de medida, que são componentes na balança que processavam esses sinais de deformação dos trilhos para que, depois de tratados, fornecessem não só o peso do vagão ou trem, como também alguns outros atributos, como a presença de defeitos nas rodas ou a temperatura dos trilhos.

Hoje, essas unidades de medida geralmente já são instaladas nos trilhos, produzidos pelas empresas fornecedoras desse tipo de instrumento. Assim, a instalação da balança consiste, em termos de infraestrutura, na substituição dos trilhos normais da via por esses trilhos instrumentados com as unidades de medida e todo o sistema automatizado para o processamento dos dados de pesagem.

3 METODOLOGIA

O estudo de caso, a estratégia utilizada neste trabalho, caracteriza-se por um aprofundado estudo a respeito de um objeto com o fim de detalhá-lo e descrevê-lo de forma ampla (GIL, 2008). Esse método de pesquisa considera também o contexto no qual este objeto está inserido na realidade e, tendo como principais propósitos os de descrever esse fenômeno sem tirá-lo de seu contexto e explicar as variáveis que o causam, esse método se adequa perfeitamente nos objetivos deste trabalho.

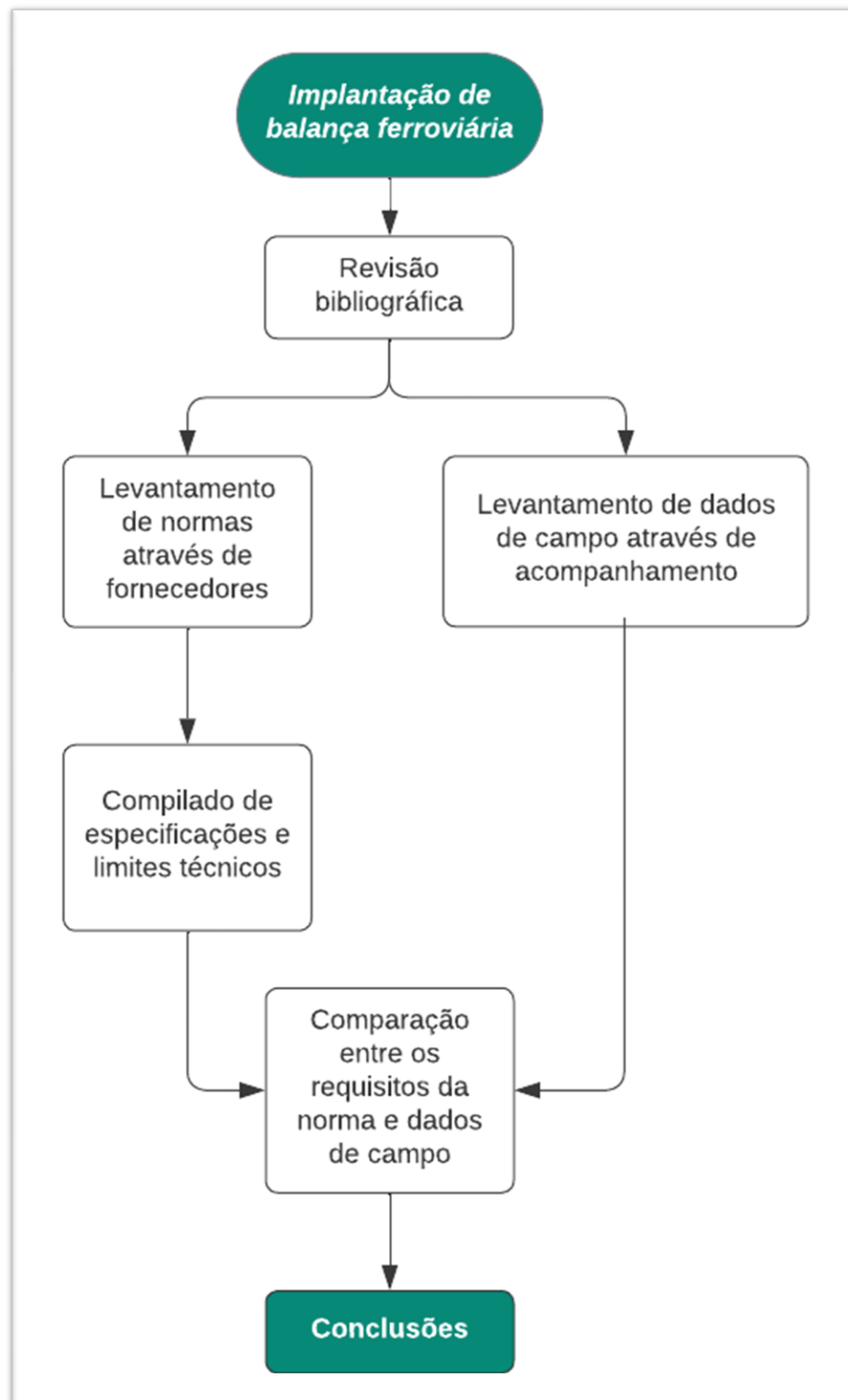
A metodologia deste trabalho consiste nos procedimentos realizados para um melhor entendimento das etapas de implantação de uma balança ferroviária dinâmica. Por motivo de confidencialidade, a empresa e os fornecedores não serão identificados, e o processo se definirá apenas pelas suas características técnicas.

A metodologia, inicialmente, consistiu em reuniões com os fornecedores da balança, para saber quais normativas eram as mais utilizadas para definição dos parâmetros técnicos desses instrumentos. Em paralelo, houve também o acompanhamento da obra de implantação de uma balança num pátio ferroviário, bem como contato com os especialistas envolvidos nos procedimentos. Esses dados foram, posteriormente, comparados com os requisitos de instalação presentes na Recomendação Internacional R-106, da OIML.

Por fim, houve também a análise dos resultados de calibração da balança, utilizando os dados de uma pesagem com trem-teste, de acordo com requisitos também presentes na Recomendação Internacional supracitada.

A Figura 25 ilustra um fluxograma para o entendimento do método

Figura 25 – Fluxograma da metodologia



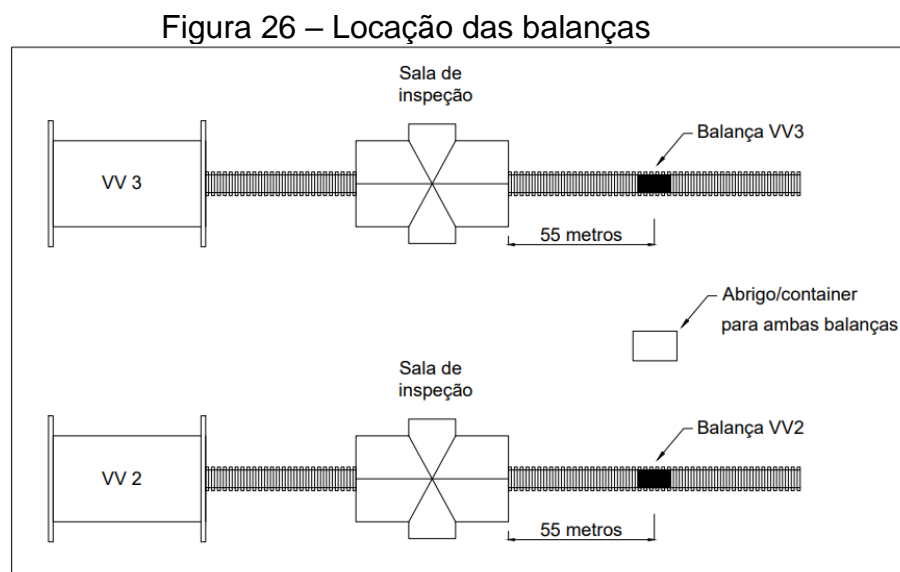
Fonte: Autor (2023).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 PARÂMETROS DE PROJETO

A obra de implantação da balança ferroviária dinâmica ocorreu num pátio ferroviário em Vitória, no Espírito Santo. Apenas a implantação de uma balança foi acompanhada, embora o projeto inteiro preveja a instalação de três instrumentos no total. Todas as três balanças foram instaladas em regiões posteriores a viradores de vagões, ou seja, locais de descarregamento desses veículos e, portanto, elas são para a aferição de tara – o peso dos vagões sem carga. A obra acompanhada foi da balança 3, instalada a 55 metros da área de inspeção de vagões.

A Figura 26 apresenta um croqui da região de instalação de duas das três balanças, bem como a identificação daquela cuja obra foi acompanhada.



Fonte: Autor (2023).

A balança ferroviária consiste em dois trilhos instrumentados (Figura 27), ou seja, trilhos modificados que contêm, cada um, duas unidades de medida que recebe e transmite os sinais das forças aplicadas pelos vagões para um aparelho que transforma esses sinais em informações de peso. Posteriormente, esses dados são transmitidos para um servidor que os armazena para, então, encaminhá-los ao *software* responsável pelo gerenciamento da balança. Outros componentes

importantes são: leitor de *tag* dos vagões, responsável por identificar cada um deles e associar os dados de pesagem ao seu respectivo veículo; tala de junção colada, que tem a função de juntar o trilho instrumentado nas extremidades do trilho cortado para recebê-lo. Além disso, uma importante função da tala de junção é isolar os trilhos instrumentados dos comuns, garantindo que qualquer descarga elétrica que ocorra nesses últimos não danifique a balança.

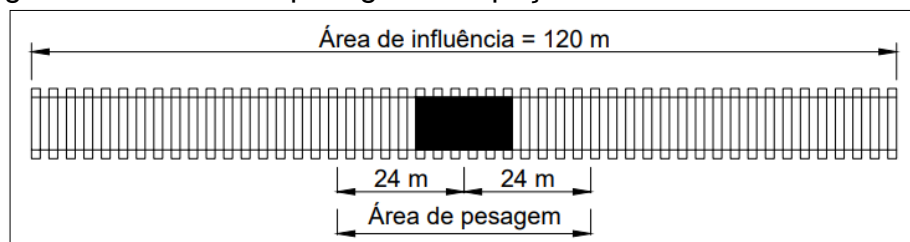
Figura 27 – Trilho instrumentado e talas de junção colada



Fonte: Autor (2022).

O trilho instrumentado, que compreende a zona de pesagem, tem 3990 mm de comprimento. Além disso, existem as zonas de aproximação, que compreendem as regiões imediatamente anterior e posterior ao trilho instrumentado. Por fim, as zonas de pesagem e de aproximação formam a zona de medição. Esses parâmetros podem ser observados na Figura 28, bem como o espaçamento de dormentes sugerido para instalação. Uma recomendação a respeito dos dormentes é que eles sejam de madeira, pois os de aço podem empenar e, uma vez empenados, eles raramente voltam à forma original. Como nas vias os dormentes já eram de madeira, essa não foi uma preocupação.

Figura 28 – Zonas de pesagem e espaçamento de dormentes



Fonte: Autor (2023).

Outro documento disponibilizado, o plano de trabalho, traz alguns requisitos técnicos de instalação, como a área de influência e a área de pesagem. A área de pesagem compreende 24 metros, 12 metros antes do centro da balança e 12 metros depois; a área de influência, por sua vez, corresponde a 60 metros antes e 60 metros depois do centro da balança. Esse parâmetro é importante pois, de acordo com estudos empíricos com dados internos da fornecedora da balança, áreas de influência menores que 120 metros levavam a incertezas maiores nos resultados de pesagem.

A área de influência deve consistir num trecho retilíneo e, a 400 metros da balança, não pode haver curvas com raio inferior a 80 metros. A variação de nivelamento longitudinal dentro da área deve ser inferior a 4 milímetros para cada 10 metros. As rampas máximas devem ser de 0,2%, em módulo e o desnível transversal entre trilhos de, no máximo, 2 mm para cada 1 metro.

Além disso, no que tange aos trilhos, deve-se substituir dois lances de trilho comum e de mesmo perfil que o trilho instrumentado, totalizando 24 metros para evitar problemas na pesagem devido ao desgaste já apresentado nos trilhos comuns.

4.2 ETAPAS DA IMPLANTAÇÃO

A implantação da balança 3 foi dividida em macro-etapas e essas etapas podem ser divididas em duas fases: a obra civil e a instalação elétrica. Novamente, de acordo com os objetivos deste trabalho, o estudo focou mais nas obras civis, que são de responsabilidade da empresa contratante. As instalações elétricas, onde também se inclui a instalação do software de pesagem, ficou por conta da empresa fornecedora da balança.

O primeiro passo para a implantação da obra consiste na liberação do trabalho, ou seja, a via onde ela vai ser realizada precisa ser paralisada. A completa paralisação do tráfego na via é de extrema importância para a segurança dos trabalhadores e, visto que a obra ocorre logo depois de um virador de vagões, ele também precisou ser paralisado. Por esse motivo, a paralisação da via é um processo que requer um bom planejamento para que as composições sejam remanejadas para outros viradores. De acordo com regulamentos de operação da própria empresa,

também se fez necessário que uma das vias adjacentes fosse paralisada para servir de rota de fuga.

Com o tráfego na via paralisado, uma equipe de levantamento topográfico foi acionada para verificar os parâmetros de projeto, como a variação do nivelamento ao longo da área de influência, tendo que ser menor do que 4 mm a cada 10 metros. Outros parâmetros, como o gradiente máximo de $\pm 0,2\%$ e o desnível transversal entre os trilhos de, no máximo, ± 2 mm também foram verificados através da topografia.

Com todos os parâmetros verificados, a área de pesagem é seccionada, ou seja, os locais onde os trilhos comuns seriam cortados para a instalação do trilho instrumentado entre eles. No entanto, antes disso, trocou-se os dormentes na região.

Mesmo não previsto em projeto, os dormentes da área de pesagem foram trocados por dormentes maiores, comumente utilizados em aparelhos de mudança de via, para se obter uma melhor estabilidade para o contra-trilho. Este é um exemplo de boa prática na manutenção de via, visto que o contra-trilho fica melhor acomodado em dormentes maiores, evitando penetração destes no lastro.

Para a troca destes dormentes, primeiro foi necessário a escavação do lastro até que o dormente conseguisse ser assentado e posicionado corretamente debaixo dos trilhos. Para garantir que a bitola da linha fosse preservada, foi utilizado um gabarito, uma barra metálica com a medida da bitola. Em seguida, o trilho foi fixado nos dormentes.

Com os dormentes instalados, os trilhos comuns foram cortados e o trilho instrumentado posicionado no lugar demarcado. Este último, por sua vez, foi fixado nos dormentes. Em seguida, utilizou-se o nivelador de trilhos (Figura 29), que serve para nivelar as extremidades dos trilhos comuns com o trilho instrumentado.

Figura 29 – Nivelador de trilhos



Fonte: Autor (2022).

Depois de nivelados, os trilhos foram então furados com uma furadeira mecânica para, então, ser realizada a limpeza do local para acomodar a tala de junta colada, que é fixada nos trilhos por parafusos como mostra a Figura 30. Este é um passo importante, pois a tala de junção tem como objetivo isolar os trilhos eletricamente, para que nenhum tipo de descarga afete o comportamento da balança.

Figura 30 – Tala de junção colada



Fonte: Autor (2022).

A última etapa da obra civil foi a montagem da infraestrutura dos dutos, feita manualmente de acordo com as diretrizes de projeto. Os cabos responsáveis por transferir os dados das células de carga são resistentes à mudança de temperatura, e eles podem ser observados na Figura 31.

Figura 31 – Cabo 7x22 AWG (escala americana)



Fonte: Autor (2022).

Depois das etapas de obra civil, a empresa contratada ficou responsável pelas instalações elétricas dos demais elementos da balança. É ela que interliga o trilho instrumentado aos receptores de sinal, que faz a instalação do software de pesagem e a instalação da antena RF-ID, responsável pela identificação de cada vagão no início do procedimento de pesagem.

4.3 CALIBRAÇÃO DA BALANÇA

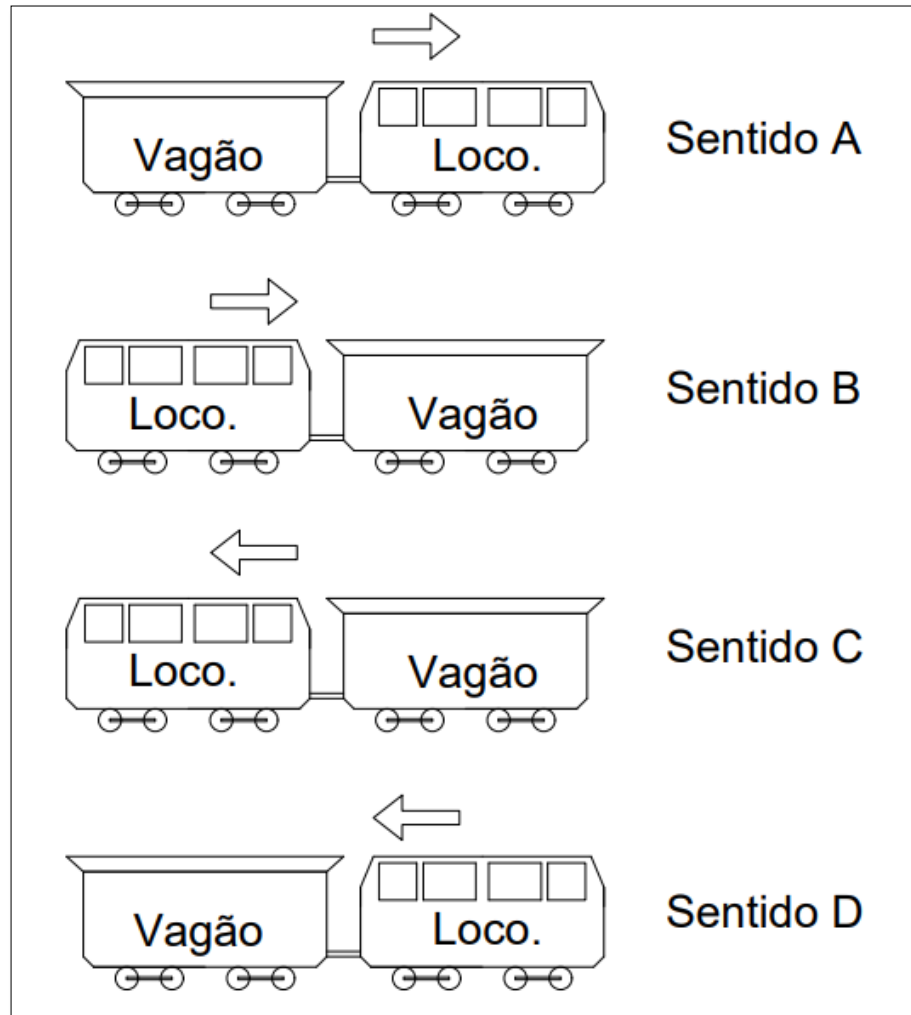
Toda nova balança precisa passar por uma calibração, para que a assertividade da pesagem possa ser controlada e o procedimento aconteça de forma fidedigna à quantidade de carga que o vagão transporta efetivamente. A calibração de uma nova balança acontece em duas etapas: a calibração e a aferição.

A calibração é feita com um comboio para testes, composto por 5 vagões carregados e 5 vagões cheios, totalizando 10 vagões. Anteriormente à calibração, esse comboio é pesado numa balança estática e os pesos de cada vagão, bem como da locomotiva, são definidos.

Com esse trem-teste pronto e com seus pesos obtidos, começa-se a calibração na balança dinâmica. A técnica consiste em avançar com o trem e recuar repetidas vezes, para evitar discrepâncias nos pesos. Essa etapa acontece em quatro situações possíveis numa via: avançar com o trem nos dois sentidos, e recuar com o trem nos dois sentidos. Essa manobra leva o nome de “passada”, e a locomotiva tem

o papel de empurrar ou puxar os vagões dependendo do sentido da passada. A Figura 32 ilustra os quatro sentidos de passada.

Figura 32 – Sentidos de passada



Fonte: Autor (2023).

Conforme o software vai apontando os pesos dos vagões, pode-se ir conferindo se os números vão se estabilizando, ou seja, se a cada passada os pesos obtidos não apresentam mais uma diferença. Com isso, é possível obter os pesos do vagão pela balança dinâmica que, por fim, podem ser comparados aos pesos obtidos na balança estática.

A Tabela 7 apresenta os dados de calibração para a balança 3, onde foram comparados os pesos obtidos estaticamente (peso referência) com os pesos obtidos pela pesagem dinamiza (peso realizado).

Tabela 7 – Calibração (verificação)

Posição do vagão	Peso referência (kg)	Peso realizado (kg)	% Vagão	% Total
V1	87.665	90.258	-2,96%	2,51%
V2	86.780	88.592	-2,09%	
V3	83.020	84.292	-1,53%	
V4	86.155	88.985	-3,28%	
V5	83.645	85.628	-2,37%	
V6	16.680	16.070	3,66%	
V7	15.880	14.977	5,69%	
V8	16.340	16.307	0,20%	
V9	15.330	15.182	0,97%	
V10	16.470	16.078	2,38%	

Fonte: Autor (2023)

Com a calibração, é possível calcular uma porcentagem de erro global, que é obtida pela média das porcentagens de erro para cada um dos dez vagões do trem-teste.

A aferição, portanto, é feita depois da calibração, e consiste num ajuste que é feito no *software* da balança, utilizando a porcentagem de erro global do trem-teste. No caso da balança 3, o erro teste foi de 2,51%, muito acima do limite permitido de 1%. Então faz-se uma nova pesagem, com o mesmo trem-teste, depois que todas as alterações foram feitas no *software*. Esse resultado, para a aferição da balança 3, pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Aferição (ajuste)

Posição do vagão	Peso referência (kg)	Peso realizado (kg)	% Vagão	% Total
V1	87.665	87.810	-0,17%	0,84%
V2	86.780	86.490	0,33%	
V3	83.020	82.325	0,84%	
V4	86.155	86.520	-0,42%	
V5	83.645	83.438	0,25%	
V6	16.680	16.533	0,88%	
V7	15.880	15.418	2,91%	
V8	16.340	16.373	-0,20%	
V9	15.330	15.613	-1,85%	
V10	16.470	16.383	0,53%	

Fonte: Autor (2023).

Conforme a Tabela 8 indica, após a aferição, a balança 3 apresentou um erro médio de 0,84%, abaixo do limite permitido de 1%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para este trabalho, que tinha como objetivo avaliar a implantação de uma balança ferroviária dinâmica, foi feito primeiro um contato com fornecedores desse tipo de equipamento com o intuito de levantar as normativas mais utilizadas. Nesse interim, houve um acompanhamento da obra de implantação de uma balança dinâmica num terminal ferroviário, onde pode-se levantar dados de campo e projetos.

Com isso, discorreu-se sobre os principais parâmetros de projeto na implantação de um instrumento de medida desse tipo, as suas etapas de implantação, bem como os dados de calibração e aferição da balança, coletados depois de instalada, para comparação com os requisitos da Recomendação Internacional R-106, da OIML.

A recomendação supracitada apresenta, no subitem “3.7 Instalação”, quatro parâmetros para a instalação de uma balança ferroviária dinâmica, em tradução livre:

- gerais;
- composição;
- facilidade de teste estático;
- drenagem.

O anexo C da norma, por sua vez, apresenta mais seis parâmetros a se levar em conta na instalação desses instrumentos.

Os resultados da análise realizada no presente trabalho podem ser conferidos no Quadro 1, que apresenta a verificação dos 10 parâmetros exigidos pela Recomendação Internacional R-106 da OIML.

Quadro 1 – Requisitos da R-106

Identificação na R-106	Requisito	Atende?
3.7.1. Gerais	Balanças devem ser fabricadas e instaladas de forma a minimizar quaisquer efeitos adversos do ambiente de instalação;	Sim
	A célula de carga deve ser protegida de destroços ou qualquer material que possa afetar a assertividade do instrumento;	Sim

3.7.2. Composição	Balanças devem conter uma ou mais células de carga, dispositivos para identificação de veículos, dispositivos para a disposição dos resultados e módulo de processamento de dados;	Sim
3.7.3. Facilidade de teste estático	Se for usada para controle, a balança deve estar localizada de forma que os vagões possam acessá-la facilmente para a pesagem;	Sim
3.7.4. Drenagem	Se a balança estiver num poço ou num local que apresente algum tipo de depressão, deve-se prover a drenagem para garantir que a célula de carga não fique submersa;	N/A
Anexo C	Zona de pesagem	Sim
	Trilhos de pesagem	Sim
	Vagões de referência	N/A
	Material derramado e gelo	Sim
	Estruturas aéreas	Sim
	Aviso de restrições de velocidade	Sim

Fonte: Autor (2023).

Os requisitos “3.7.1. Gerais” foram atendidos pois a empresa fornecedora da balança realiza inúmeros estudos para obter os melhores parâmetros de projeto, como os comprimentos das áreas de influência, por exemplo. As células de carga também são protegidas de destroços e intempéries, apesar do ambiente de instalação da balança já não apresentar riscos quanto a esse tipo de material.

O requisito “3.7.2. Composição” também foi atendido, pois a balança apresenta todos esses componentes da norma: duas células de carga em cada trilho, as antenas RF-ID para identificação de veículos ferroviários, bem como softwares para a disposição dos resultados e os módulos de processamento de dados.

O requisito “3.7.3. Facilidade de teste estático” foi atendido devido à posição da balança, que se localiza logo após um virador de vagões para a obtenção dos pesos de tara. Portanto, os vagões são pesados facilmente conforme vão saindo do virador.

O requisito “3.7.4. Drenagem” não é aplicável pois o local de instalação da balança não apresenta qualquer tipo de depressão. Além do mais, o trilho instrumentado encontra-se numa região plana, sem a possibilidade de ser submerso em líquidos pela formação de poças.

No que tange aos requisitos apresentados no anexo C, o primeiro deles dita que a zona de pesagem deve compreender as células de carga e mais uma parte do trilho para funcionar como “zona de aproximação”, o que compreende, na prática, em todo o trilho instrumentado. Portanto, este requisito está sendo atendido. O segundo, por sua vez, dita que os trilhos de pesagem devem ser devidamente ancorados e alinhados, o que pode ser observado na obra e, portanto, também representa um requisito atendido.

O terceiro diz respeito à pesagem de vagões de referência desacoplados, que não se aplica no objetivo da balança em questão, utilizada na saída de um virador de vagão e, portanto, com os vagões vazios e ainda acoplados entre si. O quarto requisito, por sua vez, diz respeito à proteção do trilho instrumentado contra possíveis derramamentos de material ou acúmulo de gelo, este último para o caso de regiões onde há a incidência de neve. Este requisito é, de certa forma, atendido, visto que na região não há tal incidência, bem como os vagões pesados estarão sempre vazios, visto que é uma balança de tara.

O penúltimo requisito expresso no anexo C trata do risco de a balança estar instalada abaixo de mecanismos de carregamento ou transportes por içamento, que é atendido. Por fim, há um requisito que diz respeito à garantia de que todos os maquinistas tenham conhecimento das velocidades mínimas e máximas de operação nas quais podem prosseguir, que é atendido. No entanto, esse caso será raramente recorrente em tal balança, visto que os vagões pesados não são conduzidos por uma locomotiva, e sim pelo simples ato de os vagões descarregarem e avançarem para dar lugar a novos vagões no virador.

No que tange à calibração, foi observado certa discrepância entre as recomendações da OIML e o que de fato ocorre em campo, pois a empresa dona das balanças tem uma normativa própria que dita que, para uma balança ser aprovada, o erro admissível global não pode ser maior que 1%, mesmo que a classe da balança em questão seja de uma precisão maior.

No caso da balança 3, de classe 1 e, portanto, precisão de 0,5% numa verificação inicial, cinco vagões-testes apresentaram percentual de erro maior que esse limite, mas como a empresa dita que a balança é reprovada apenas se o erro global for maior que 1%, a aferição de 0,84% foi aprovada.

Considerando que a balança será usada como balança de tara, ou seja, para pesar excepcionalmente vagões vazios, e que os dois maiores erros individuais na aferição foram nos vagões vazios V7 e V9, de 2,91% e -1,85%, respectivamente, pode-se concluir que mais alguns testes podiam ter sido performados. Um trem-teste apenas com vagões vazios, para calibrar a balança especificamente para esse tipo de tara, pode mitigar esses tipos de erros.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestão para trabalhos posteriores, ainda seguindo a linha de pesquisa do trabalho, que é a implantação de balanças ferroviárias dinâmicas, tem-se:

- Uma análise de como a aferição causa impacto na pesagem ao longo do tempo, comparando os dados de aferição com um banco de dados mais robusto daquela mesma balança;
- Um mapeamento completo de todas as técnicas de construção utilizadas ao longo da implantação da balança, e como elas podem influenciar no resultado da pesagem;
- Uma sugestão de um novo procedimento de aferição, focado no objetivo de instalação da balança.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário do setor ferroviário, 2022**. Tabela resumo. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario/arquivos-tabelas-excel/tabela-resumo.xlsx/view>>. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Concessões ferroviárias, 2022**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>>. Acesso em: 03 de out. de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Conheça a ANTT, 2022**. Folder institucional. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/acao-informacao/institucional/conheca-a-antt>>. Acesso em: 06 de jan. de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Sobre a ANTT, 2022**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/acao-informacao/institucional/sobre-a-antt>>. Acesso em: 06 de jan. de 2023.

ANDERSSON, Evert; BERG, Mats; STICHEL, Sebastian. **Rail vehicle dynamics**. Stockholm: Railway Group KTH, 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. **O setor ferroviário de carga brasileiro, 2021**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de ferro**. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1988.

BUZZI, João Pedro. **Proposta de um novo índice de acidentes ferroviários conforme as condições de operação**. 2019. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ferroviária e Metroviária, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.

COMPANHIA SIDERÚRGIA NACIONAL. Quem somos, 2022. **Ferrovias Transnordestina S.A.** Disponível em: <<https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/tlsa/>>. Acesso em: 22 de out. de 2022.

COMPANHIA SIDERÚRGIA NACIONAL. Quem somos, 2023. **Ferrovias Transnordestina Logística**. Disponível em: <<https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/ftl/#>>. Acesso em: 14 de jan. de 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte e economia: o sistema ferroviário brasileiro**. Brasília, 2013.

COSTA FILHO, Arthur Jacinto da; TETTI, Ulisses; MADARAZZO, Sidney. **Utilização de Balança Ferroviária Dinâmica na COSIPA**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 4, n. 2, p. 1-5, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Histórico, 2016**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/ferrovias/historico>>. Acesso em: 26 de set. de 2022.

FERROESTE. **A empresa, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.ferroeste.pr.gov.br/Pagina/empresa>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

FERROVIA TEREZA CRISTINA. **Operacional, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.ftc.com.br/operacional>>. Acesso em: 22 de out. de 2022.

FERROVIA TEREZA CRISTINA. **Quem somos, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.ftc.com.br/quemsomos>>. Acesso em: 22 de out. de 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

HAY, William W. **Railroad engineering**. 2nd edition. USA: Wiley-Interscience, 1982.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **História das ferrovias no brasil, 2014**. Página inicial. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/609#:~:text=A%20hist%C3%B3ria%20das%20ferrovias%20no,com%2014%20km%20de%20extens%C3%A3o>>. Acesso em: 23 de jun. de 2022.

LACERDA, Sander Magalhães. **O transporte ferroviário de cargas**. 2002.

MANSUR, Rafaela; ANDRADE, Jordânia. Brumadinho: quase 4 anos após a tragédia, Polícia Civil identifica mais uma vítima do rompimento de barragem da Vale, 2022. **G1 Minas Gerais**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/12/20/brumadinho-quase-4-anos-apos-tragedia-policia-civil-identifica-mais-uma-vitima-do-rompimento-de-barragem-da-vale.ghtml>>. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

MASSA. **O que é balança dinâmica e como funciona, 2020**. Página inicial. Disponível em: <https://massa.ind.br/o-que-e-balanca-dinamica-e-como-funciona/#O_que_e_balanca_dinamica>. Acesso em: 08 de jan. de 2023.

MASSA. **Pátio ferroviário: o que é e como funciona?, 2021**. Página inicial. Disponível em: <<https://massa.ind.br/patio-ferroviario/>>. Acesso em: 17 de fev de 2023.

MINISTÉRIO DE TRANSPORTES. **Plano Nacional de Logística de Transportes – PNLT**. 2012.

MOLNÁR, Károly et al. **Dynamic Weighing System Of Railway Carriages**. measurement, v. 1, p. 3, 2003.

MORAIS, Marcelo Luís Figueiredo; DE SOUZA FERREIRA, Leonardo; DE FREITAS, Marcelo Castilho. **O CONTROLE LEGAL DOS INSTRUMENTOS DE PESAGEM NO BRASIL**. 2011.

MRS LOGÍSTICA. **Malha ferroviária e frota, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.mrs.com.br/empresa/ferrovia-frota/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

MRS LOGÍSTICA. **Quem somos, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.mrs.com.br/empresa/quem-somos/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL. **Recomendação Internacional R-106: automatic rail-weighbridges**. 2011.

PROFILLIDIS, V.A. **Railway Management and Engineering**. 4th edition. England: Ashgate Publishing Limited, 2014.

PYRGIDIS, Christos N. **Railway transportation systems: design, construction and operation**. 1th edition. Boca Raton: CRC Press, 2016.

RIBEIRO, Anna Rachel et al. **O processo de pesagem de cargas: um estudo aplicado a redução de tempo e prevenção de perdas na VLI**. 2018. 132 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Belo Horizonte, 2018.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Operação ferroviária: planejamento, dimensionamento e acompanhamento**. 1. edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A, 2016.

RUMO LOGÍSTICA. **Quem somos, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://rumolog.com/quem-somos/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

RUMO LOGÍSTICA. **Transporte Ferroviário, [s.d.]**. Página inicial. Disponível em: <<https://rumolog.com/nossos-negocios/transporte-ferroviario/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

SANTOS, Silvio dos. **Transporte ferroviário: história e técnicas**. 2ª edição. Câmara Brasileira do Livro, 2021.

VALE. **Espaço memória, 2023**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/espaco-memoria>>. Acesso em: 14 de jan. de 2023.

VALE. **Logística, 2023**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/logistica>>. Acesso em: 14 de jan. de 2023.

VLI LOGÍSTICA. **História, 2021**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.vli-logistica.com.br/quem-somos/historia/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

VLI LOGÍSTICA. **Quem somos, 2021**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.vli-logistica.com.br/quem-somos/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.