

**GABRIEL FONSECA BORDEAUX REGO**

**CONCEPÇÃO E ANÁLISE DE NOVOS TRAÇADOS FERROVIÁRIOS  
FRENTE AO CONTEXTO ATUAL DA MALHA FERROVIÁRIA  
BRASILEIRA: ESTUDO DE CASO DA NOVA FERROESTE ENTRE  
CURITIBA (PR) E PARANAGUÁ (PR)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Departamento de Engenharia Civil 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

2019

**GABRIEL FONSECA BORDEAUX REGO**

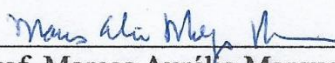
**CONCEPÇÃO E ANÁLISE DE NOVOS TRAÇADOS  
FERROVIÁRIOS FRENTE AO CONTEXTO ATUAL DA MALHA  
FERROVIÁRIA BRASILEIRA: ESTUDO DE CASO DA NOVA  
FERROESTE ENTRE CURITIBA (PR) E PARANAGUÁ (PR)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 2 de julho de 2019.

Prof.<sup>a</sup> Luciana Rohde, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.<sup>a</sup> Luciana Rohde, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. João Arthur Mohr  
Federação das Indústrias do Estado do Paraná - FIEP

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

Rego, Gabriel Fonseca Bordeaux      Concepção e Análise de Novos  
Traçados Ferroviários Frente ao Contexto Atual da Malha Ferroviária  
Brasileira: Estudo de Caso da Nova Ferroeste entre Curitiba (PR) e  
Paranaguá (PR) / Gabriel Fonseca Bordeaux Rego; orientador, Marcos  
Aurélio Marques Noronha, 2019.

107 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Ferrovias. 3. Traçados Preliminares  
Ferroviários. 4. Nova Ferroeste. 5. BIM. I. Noronha, Marcos Aurélio  
Marques. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, aos meus pais e família por todo suporte, amor, apoio e dedicação ao longo de toda minha vida acadêmica, desde os primeiros dias de escola até o presente momento, sem eles nada disso seria possível.

Ao meu orientador Marcos Aurélio Marques Noronha por toda ajuda, tempo disponibilizado e conhecimento repassado ao longo desse um ano de orientação e pela oportunidade que tive de participar da Reflexão Prospectiva do Setor Ferroviário de Cargas para o ano de 2040, evento que certamente colaborou para elaboração deste trabalho.

Ao João Arthur Mohr por todo auxílio no repasse de dados do estudo de caso do trabalho e disponibilidade para tirar dúvidas, além da ótima recepção enquanto estive na cidade de Curitiba para colher informações do projeto.

Ao “Amigos do Chape”, aos outros amigos que tive o prazer de conhecer na Universidade Federal de Santa Catarina e aos que já conhecia antes de começar o curso, à ATEC – Associação Atlética de Engenharia Civil – e à Comissão Organizadora da Betonada da Civil, por todos os bons momentos vividos durante a graduação e conhecimentos adquiridos. Amizades e recordações que levarei para a vida toda.

A todos do Escritório do DEINFRA da Ponte Hercílio Luz, pela oportunidade única de aprender e conviver durante estes dez meses nesta obra emblemática e de fundamental importância para o Estado de Santa Catarina.

Por fim, a todas as pessoas que colaboraram de alguma forma para o meu crescimento pessoal e formação profissional ao longo desses anos.

“Os países que têm boa infraestrutura de transportes não a têm por serem desenvolvidos. Antes, são desenvolvidos porque cuidaram, no devido tempo, das suas estradas e das vias de transporte de todo tipo” (VIANA, 2007, p. 69).

## RESUMO

O setor ferroviário do Brasil apresenta-se estagnado nas últimas décadas, já que a malha não apresentou avanços significativos em sua extensão e muitos trechos estão inativos. Conseqüentemente, as rodovias são responsáveis por grande porcentagem do transporte de cargas tanto entre o mercado nacional quanto para as exportações. O modal ferroviário é o mais indicado para o transporte de produtos de baixo valor agregado em longas distâncias. Em consequência de o Brasil ser um grande produtor de commodities sendo a produção localizada no interior e considerando sua extensão territorial, o investimento em ferrovias torna-se um assunto prioritário na pauta de infraestrutura e logística do país. Este estudo alia a importância de novos projetos ferroviários com soluções para a eliminação dos gargalos físicos e operacionais existentes no setor. Abordou-se a etapa de concepção de traçados preliminares de ferrovias, fazendo comparações com projetos rodoviários e todos os parâmetros a serem considerados como rampa máxima de inclinação vertical e raio mínimo de curva horizontal. Como estudo de caso foi escolhido o projeto da Nova Ferroeste, com enfoque no trecho entre Curitiba (PR) e Paranaguá (PR). A região em questão apresenta um relevo muito acidentado o que resultou em obstáculos para a elaboração das alternativas respeitando os limites preestabelecidos. A elaboração dos traçados alternativos foi realizada através de modelagem BIM com o software *Infraworks*. A tomada de decisão da melhor alternativa de traçado englobou múltiplos critérios como extensão total de traçado e extensão de obras de artes especiais por meio do método de matriz AHP.

**Palavras-chave:** Ferrovias. Traçados Preliminares Ferroviários. Nova Ferroeste. BIM. Matriz AHP.

## ABSTRACT

The railroad sector in Brazil has been idle in the last decades, since the network does not present significant advances in its extension and many sections are inactive. Therefore, brazilian highways are responsible for the largest percentage of cargo transportation for both the national and international market. The rail mode is the most suitable transport for low added value products over long distances. As a result of Brazil being a major producer of commodities being the production located in the interior and considering its territorial extension, the investment in railroads becomes a priority subject in the infrastructure and logistics of the country. This study combines the importance of new rail projects with solutions to eliminate the physical and operational bottlenecks in the sector. The present study accomplishes the preliminary design of railroad tracks, making comparisons with road projects and all the parameters to be considered as maximum vertical slope ramp and minimum horizontal curve radius. As a case study, it considers the Nova Ferroeste project, focusing on the section between Curitiba (PR) and Paranaguá (PR). The region in question presents a very uneven area which has resulted in obstacles to the elaboration of the alternatives, with regards of the pre-established limits. The present development considered BIM modeling with Infracore software to obtain the alternatives railroad alignments. The decision criteria for the best alternative embraced multiple criteria such as the total extension of the alignments and the extension of bridges and tunnels by the AHP matrix method.

**Keywords:** Railways. Preliminary Railway Design. Nova Ferroeste. BIM. Matrix AHP.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estradas de Ferro do Paraná (1885-1895) .....	22
Figura 2 - Mapa Ferroviário do Paraná .....	25
Figura 3 - Capacidade Operacional da Malha Paranaense .....	27
Figura 4 - Principais Rotas de escoamento da Soja e do Milho provenientes do Paraná .....	28
Figura 5 - Competição entre os Modais em relação a distância percorrida e carga transportada .....	29
Figura 6 - Rotas de Escoamento da Soja do Centro-Oeste até os portos e os seus custos .....	32
Figura 7 - Ranking da Qualidade da Infraestrutura Ferroviária dos Principais Exportadores de Soja e Milho .....	37
Figura 8 - Densidade da Infraestrutura Ferroviária dos Principais Exportadores de Soja e Milho .....	37
Figura 9 - Principais Entraves do Transporte Ferroviário .....	38
Figura 10 - Extensões da Malha Ferroviária Brasileira de Cargas e suas Respectivas Bitolas .....	41
Figura 11- Corredor Bioceânico Ferroviário .....	43
Figura 12 - Tipos de Regulação no Modal Ferroviário .....	46
Figura 13 - Perfil da Malha Ferroviária Paranaense .....	54
Figura 14 - Custo Operacional da Malha Ferroviária Paranaense .....	55
Figura 15 - A Nova Ferroeste .....	56
Figura 16 - Alternativas de Traçados Analisadas .....	57
Figura 17 - Localização dos Parques Nacionais Interceptados pelo Trecho .....	59
Figura 18 - Interferências Ambientais no trecho entre Curitiba e Paranaguá .....	60
Figura 19 - Fluxograma sobre Estudo de Traçado .....	62
Figura 20 - Fluxograma sobre Estudo de Viabilidade (Preliminar) .....	64
Figura 21- Fluxograma sobre Projeto Básico (Anteprojeto) .....	65
Figura 22 - Área 1 e Área 2 da Geração de Modelo do Infracore .....	70
Figura 23 - Ponto de Partida Área 1 .....	71
Figura 24 - Ponto Final Área 1 .....	72
Figura 25 - Viadutos da Alternativa 1.1 .....	73
Figura 26 - Inconsistência do Final da Alternativa 1.1 .....	73
Figura 27 - Vista em Planta da Alternativa 1.1 .....	74



Figura 28 - Alternativa 1.1: Perfil Inicial x Perfil Final .....	74
Figura 29 - Inconsistência do Final da Alternativa 1.2 .....	75
Figura 30 - Vista em Planta da Alternativa 1.2 .....	76
Figura 31 - Alternativa 1.2: Perfil Inicial x Perfil Final .....	76
Figura 32 - Inconsistência do Final da Alternativa 1.3 .....	77
Figura 33 - Curva Fechada Alternativa 1.3 x Curva Fechada Ferrovia Atual.....	78
Figura 34 - Vista em Planta da Alternativa 1.3 .....	78
Figura 35 - Alternativa 1.3: Perfil Inicial x Perfil Final .....	79
Figura 36 – Ponto de Partida Área 2 .....	81
Figura 37 - Ponto Final Área 2 .....	82
Figura 38 - Vista em Planta da Alternativa 2.1 .....	82
Figura 39 - Perfil Vertical da Alternativa 2.1 .....	83
Figura 40 - Vista em Planta da Alternativa 2.2 .....	83
Figura 41- Perfil Vertical da Alternativa 2.2.....	83
Figura 42 - Vista em Planta da Alternativa 2.3 .....	84
Figura 43 - Perfil Vertical da Alternativa 2.3.....	84
Figura 44 - Comparação de Critérios em uma Matriz AHP .....	86
Figura 45 - Equação Índice de Consistência e Razão de Consistência .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz do Transporte de Cargas no Brasil .....	28
Tabela 2 - Matrizes do Transporte de Carga pelo Mundo.....	28
Tabela 3 - Características do Traçado da Malha Ferroviária Paranaense .....	54
Tabela 4 - Resumo Alternativa 1.1.....	72
Tabela 5 - Resumo Alternativa 1.2.....	75
Tabela 6 - Resumo Alternativa 1.3.....	77
Tabela 7 - Comparação das Alternativas da Área 1 .....	80
Tabela 8 - Comparação das Alternativas da Área 2 .....	85
Tabela 9 - Comparação entre Critérios da Matriz AHP .....	88
Tabela 10 - Dados do Traçado Final .....	89
Tabela 11 - Matriz de Decisão Área 1.....	90
Tabela 12 - Matriz de Decisão Área 2.....	91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

BIM – *Building Information Modeling*

CAPEX – *Capital Expenditure*

CCO – Centro de Controle Operacional

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CORREDOR OESTE – Estudo Corredor Oeste de Exportação do Estado do Paraná

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FEPASA – Ferrovia Paulista S/A

FERROESTE – Estrada de Ferro Paraná Oeste S/A

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ISF – Instrução de Serviço Ferroviário

OAEs – Obras de Arte Especiais

OFIs – Operadores Ferroviários Independentes

RFFSA – Rede Ferroviária Federal S/A

TKU – Tonelada Quilômetro Útil

TU – Tonelada Útil

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1.	Objetivo Geral .....	15
1.2.	Objetivos Específicos .....	15
1.3.	Justificativa do Trabalho .....	16
1.4.	Estrutura do Trabalho .....	16
<b>2.</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL .....</b>	<b>17</b>
2.1.	História das Ferrovias no Brasil .....	17
2.1.1.	História das Ferrovias no Paraná.....	21
2.2.	Panorama Atual da Malha Ferroviária Brasileira.....	24
2.2.1.	Panorama Atual da Malha Ferroviária Paranaense .....	25
2.3.	A Importância do Modal Ferroviário no Transporte de Cargas de Exportação e sua Comparação com Outros Modais .....	28
2.4.	Principais Gargalos e Soluções para o Sistema Ferroviário.....	38
2.4.1.	Falta de Padronização das Bitolas .....	38
2.4.2.	Regulação do Modal Ferroviário: Direito de Passagem, Tráfego Mútuo e Concessões .....	43
2.4.3.	Passagens em Nível e Invasões de Faixas de Domínio .....	48
2.4.4.	Falta de Conexão entre as Ferrovias e Ausência da Intermodalidade.....	48
<b>3.</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>50</b>
3.1.	O Projeto da Nova Ferroeste .....	50
3.2.	Trecho entre Curitiba e Paranaguá .....	56
3.2.1	Aspectos Técnicos, Operacionais e Geométricos.....	57
3.2.2	Aspectos Sociais, Ambientais e Geotécnicos .....	59
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE DE TRAÇADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1.	Aspectos Técnicos no Estudo de Traçados Ferroviários.....	61
4.1.1.	Fase Preliminar .....	63
4.1.2.	Anteprojeto .....	64
4.1.3.	Diferenças entre Traçados de Ferrovias e Rodovias .....	66

4.2.	Execução dos Traçados no Infracore.....	68
4.2.1.	Área 1 .....	71
4.2.1.1.	Alternativa 1.1 .....	72
4.2.1.2.	Alternativa 1.2 .....	74
4.2.1.3.	Alternativa 1.3 .....	76
4.2.1.4.	Resumo das Alternativas .....	79
4.2.2.	Área 2 .....	81
4.2.2.1.	Alternativa 2.1 .....	82
4.2.2.2.	Alternativa 2.2 .....	83
4.2.2.3.	Alternativa 2.3 .....	84
4.2.2.4.	Resumo das Alternativas .....	84
4.3.	Análise dos Traçados Realizados Através do Uso de Matriz AHP.....	86
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>92</b>
5.1.	Considerações Finais .....	92
5.2.	Recomendações para Trabalhos Futuros .....	93
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país exportador de commodities de dimensões continentais. Quase 50% das exportações brasileiras estão concentradas em seis produtos (minério de ferro, petróleo bruto, soja, café, carne e açúcar) e esses produtos precisam ser transportados por longas distâncias, entre as regiões de onde são produzidos, para portos e, posteriormente, para o exterior (FGV, 2015). Por se tratar de extensos percursos transportando produtos de baixo valor agregado em grandes quantidades, o modal mais adequado para o escoamento das cargas de exportação até os portos é o ferroviário. Porém a malha ferroviária brasileira está muito aquém da necessária, fazendo com que os produtos extraídos no país percam a competitividade frente a outros países devido aos custos logísticos. O presente trabalho tem como finalidade em um primeiro momento estudar a conjuntura atual da rede ferroviária brasileira, apontando os principais problemas históricos, econômicos e sociais que fizeram o Brasil chegar ao panorama existente e como novos projetos podem mudar este cenário. Também serão abordados os obstáculos físicos e operacionais que impedem o país de avançar no setor, bem como a discrepância de sua matriz de transporte de cargas comparando-se a países de extensões territoriais equivalentes.

Na segunda parte do trabalho, após a contextualização da realidade vivenciada nos dias de hoje, o estudo focará no projeto da Nova Ferroeste, que tem por objetivo ligar a região de Dourados (MS) até o porto de Paranaguá (PR), atendendo a demanda do oeste paranaense e parte do Mato Grosso do Sul, regiões importantes no agronegócio do país principalmente na produção de soja e milho. O enfoque será dado ao trecho mais crítico do projeto entre Curitiba (PR) e Paranaguá (PR), no qual durante a descida da Serra do Mar o trajeto atravessa uma diferença de altitude de quase 1000 metros. A análise de traçados neste trecho abordará características específicas de projetos ferroviários e suas diferenças em relação a obras rodoviárias. As alternativas de caminhos nesta região serão criadas a partir do software *Infraworks* através do gerador de modelos de terreno do próprio programa em uma modelagem BIM (*Building Information Modeling*), e a tomada de decisão realizada a partir do método da matriz AHP (*Analytic Hierarchy Process*). A importância de novos projetos como este, contribuindo para o aumento da participação do modal ferroviário no transporte de cargas, concomitantemente às melhorias e soluções para gargalos existentes no setor, farão com que o Brasil não dependa apenas do modal rodoviário para a locomoção dos seus produtos dentro do mercado nacional e para a exportação, e por assim dizer, evitar que aconteçam episódios como os registrados na Greve dos Caminhoneiros em 2018 conforme mostra G1 (2018).

A relevância dos estudos de traçados preliminares também será mencionada de forma a colaborar com as decisões do restante do projeto, bem como o uso de novos softwares e programas computacionais na área de infraestrutura, que diferentemente do setor de construção civil ainda não está habituada a estes recursos como forma de ajudar a otimizar o processo que envolve a implantação de rodovias e ferrovias. Por fim, cabe uma analogia de modo a juntar as duas vertentes do trabalho. Caso haja apenas investimentos em novos projetos, sem pensar na malha atual como um todo, seria o mesmo que a construção de um aeroporto moderno com o mais alto nível de tecnologia sem condições de operar aeronaves grandes em voos domésticos devido à falta de infraestrutura dos outros aeroportos do país.

### **1.1. Objetivo Geral**

O objetivo principal do presente trabalho é analisar a proposta de traçados preliminares em novos projetos ferroviários, utilizando-se de modelagem BIM aliado aos métodos de tomada de decisão com múltiplas variáveis, fazendo uma ligação com a conjuntura atual do setor ferroviário no Brasil.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Estudar o projeto da Nova Ferroeste, analisando seus aspectos socioeconômicos, ambientais e geotécnicos e propondo alternativas de traçado, com ênfase no trecho da descida da Serra do Mar entre Curitiba (PR) e Paranaguá (PR);
- Analisar do panorama atual do modal ferroviário brasileiro e com mais detalhe o cenário existente no estado do Paraná, fazendo uma abordagem histórica para entender como alcançou-se a atual situação;
- Entender a importância do modal ferroviário para o escoamento de produtos de baixo valor agregado até os portos e o porquê de como um avanço no setor resultaria em ganhos para as exportações do país;
- Aliar novos projetos ferroviários a soluções que busquem melhorar os gargalos físicos e operacionais existentes nas ferrovias brasileiras;
- Entender como é realizado um estudo preliminar de traçado ferroviário e suas peculiaridades, comparando com projetos rodoviários;
- Utilizar modelagem BIM como forma de otimizar projetos preliminares rodoferroviários;

- Aplicar análise multicritério como forma de ajudar na tomada de decisão da melhor alternativa de traçado, através das importâncias entre critérios preestabelecidas.

### **1.3. Justificativa do Trabalho**

O presente trabalho aborda um tema que deveria ser mais discutido tanto no meio acadêmico quanto na esfera política. Atualmente o modal ferroviário no Brasil possui uma malha pequena considerando a sua extensão territorial, além de existirem problemas de conexão e diferença de bitolas entre as ferrovias. A falta de continuidade nos projetos de planejamento logístico do país aliada à falta de interesse dos governantes pelo fato de as ferrovias possuírem um alto custo de implantação, com ganhos a longo prazo e não apresentarem benefícios à maioria da população, ao contrário do que ocorre com as rodovias, contribuem para a decadência do setor. Tudo indica que se o país quiser melhorar a sua infraestrutura para concorrer de forma igualitária com outros países exportadores a matriz de transportes atual terá que priorizar as ferrovias logo, isso será um tema relevante no futuro. O auxílio de novos softwares e programas como forma de potencializar os novos projetos ferroviários que vierem a ser realizados também será de fundamental importância.

### **1.4. Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, dispostos da seguinte forma:

O capítulo 1 contém a introdução, objetivos gerais e específicos e a justificativa do trabalho

No capítulo 2 é realizada uma abordagem histórica das ferrovias no Brasil e no Paraná. Logo após é apresentado o cenário atual do setor ferroviário, a sua importância no transporte de cargas de exportação e problemas e soluções dos gargalos físicos e operacionais existentes.

O capítulo 3 contém o detalhamento do estudo de caso do trabalho, o projeto da Nova Ferroeste, dando enfoque ao trecho mais crítico entre Curitiba (PR) e Paranaguá (PR).

No capítulo 4 são apresentados aspectos técnicos de traçados ferroviários, nas etapas de estudo preliminar e projeto básico, as diferenças entre projetos de ferrovias e rodovias, e por fim a execução das alternativas de traçado seguido da análise de cada uma e a escolha do traçado final.

O capítulo 5 contém as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.



## **2. CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL**

Neste capítulo será abordado o contexto atual das ferrovias brasileiras, com enfoque direcionado à realidade paranaense, citando desde o surgimento das primeiras estradas de ferro no Brasil até o porquê dos gargalos físicos e operacionais que encontramos nos dias de hoje. Também será destacada a importância do modal ferroviário para o transporte de cargas de exportação justificando o investimento em novos projetos como o da Nova Ferroeste, elencando soluções emergenciais e a longo prazo que corrijam problemas atuais para que juntos com a implantação de novas ferrovias possa se ter um modal ferroviário eficiente no futuro.

### **2.1. História das Ferrovias no Brasil**

Primeiro é necessário entender os motivos que levaram à construção das primeiras ferrovias brasileiras. Segundo Finger (2013), as linhas pioneiras tiveram duas funções principais: a primeira, do ponto de vista econômico, visava o escoamento da produção agrícola até os portos e a segunda, do ponto de vista estratégico, a articulação territorial e defesa das fronteiras movidas por ideais políticos. Para Márcio SILVEIRA (2002), nas regiões produtoras as ferrovias formavam verdadeiros corredores de exportação, tendo seus traçados um sentido longitudinal na direção interior-litoral. Já no Sul e Sudeste, por possuírem uma produção mercantil voltada para o mercado interno, esses locais foram mais bem servidos pelas ferrovias formando um sistema radial. Logo, além de escoar os produtos aos portos, as ferrovias tinham função também de ligar cidades.

Do modo de construção das linhas férreas, Borges (2018) divide as técnicas construtivas em três períodos: o primeiro antes da segunda guerra mundial, caracterizada por linhas construídas e exploradas por empresas estrangeiras e construções feitas manualmente. Já durante a guerra foram introduzidas as primeiras máquinas de terraplenagem proporcionando linhas mais adequadas em termos geométricos. Por fim, após a segunda guerra a construção foi caracterizada pelo uso generalizado de máquinas de terraplenagem com o acréscimo de levantamentos aerofotogramétricos e ajuda da ciência da mecânica dos solos, o que levou a traçados otimizados e mais baratos. A construção seguiu o sentido leste para oeste precisando vencer grandes diferenças de altitude e terrenos adversos como, por exemplo, a Serra do Mar.

Segundo Telles (2011), a primeira tentativa de implantação de uma ferrovia em terras brasileiras deu-se em 1835, quando o regente Diogo Antônio Feijó por meio de uma lei concedeu favores a quem tivesse interesse em construir e explorar ferrovias. Porém, não apareceu nenhum interessado em tão arriscado investimento para a época. O estudo da

Confederação Nacional dos Transportes (CNT) de 2013 aponta que devido ao baixo nível de interesse para a construção de ferrovias no Brasil imperial, o governo em 1852 instituiu a Lei de Garantia de Juros (decreto nº 64111) que autorizava a concessão da construção e exploração das ferrovias pelo prazo máximo de 90 anos. Este decreto proibia também a construção de outra ferrovia num raio de 33 km, o que originou então o monopólio do transporte ferroviário das regiões nas mãos de empresas estrangeiras. Este monopólio garantia ao investidor o retorno do empreendimento, conseqüentemente o interesse da iniciativa privada na construção e exploração de ferrovias logo aumentou. Porém a CNT aponta um erro crucial no planejamento ferroviário brasileiro, embora tivesse estímulos aos investidores para construção de novas ferrovias, não foi criado um órgão regulador para isso. Logo, o Brasil teve um crescimento desordenado da malha, resultando na utilização de diversos tipos de bitolas.

Borges (2018) aponta que em 1852, Irineu Evangelista de Souza, mais conhecido como Barão de Mauá, por sua conta e risco construiu a ligação ferroviária entre a Baía de Guanabara e Petrópolis. Assim em 1854, deu-se a inauguração da primeira estrada de ferro do país com 14,5 km de extensão que foram percorridos em 23 minutos a uma velocidade média de 38 km/h. Márcio SILVEIRA (2007) complementa que logo após a primeira ferrovia, novas estradas de ferro foram criadas e financiadas pelo capital estrangeiro para transportar volumes intensos da produção nacional do interior aos portos, a fim de exportá-los a outros países.

Segundo a CNT (2013), a expansão das ferrovias no território brasileiro está ligada aos ciclos econômicos agroexportadores que o país presenciou, como por exemplo o ciclo do café que predominou até meados de 1930. Porém, à medida que os ciclos acabavam, as ferrovias perdiam a sua viabilidade econômica, uma vez que foram construídas sem uma articulação adequada com fim apenas de escoar a produção em direção aos portos.

Um dos fatos mais importantes na história do desenvolvimento ferroviário no Brasil foi a ligação Rio – São Paulo, unindo as duas principais metrópoles do país, quando os trilhos da Estrada de Ferro São Paulo juntaram-se aos da Estrada de Ferro Dom Pedro II (BORGES, 2018). O estudo da Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF) de 2004 revela que depois de consolidada a República, a construção de ferrovias no país experimentou um verdadeiro boom e em 7 anos, de 1907 a 1914, a malha passaria de pouco mais de 17.000 km para 26.000 km. A CNT (2013) complementa que neste período as

ferrovias além de atenderem os portos com produtos de exportação também abasteciam o mercado interno das cidades desempenhando um importante papel.

Para Finger (2013), com a queda nas exportações de produtos primários muitas linhas, que unicamente escoavam a produção agrícola aos portos, acabaram indo à falência no final da década de 20. Porém, como desde meados do século XIX a infraestrutura do país basicamente era voltada ao modal ferroviário, sendo em muitos casos a única forma de acesso a diversas regiões, o governo viu-se obrigado a assumir a responsabilidade de operação destas ferrovias para não paralisar a economia do país. Para completar, o investimento na construção de novas linhas por parte de empresas privadas parecia cada vez menos atrativo. A falência das empresas concessionárias e o processo que entregou a malha deficitária ao governo, coincidiu com a crise do café e a entrada dos primeiros automóveis no Brasil vindos dos Estados Unidos. A administração de rodovias aparentava ser menos complexa que operar e manter diversas ferrovias que haviam perdido a razão de existir, basicamente, por não necessitar permanentemente de empresas responsáveis por toda a parte de operação e manutenção. Isto ajuda a entender por que o modal rodoviário ganhou força nos anos seguintes. Previa-se que a rede rodoviária pudesse integrar com mais rapidez o mercado interno nacional do que as ferrovias, complementa Márcio SILVEIRA (2007).

Márcio SILVEIRA (2007) ainda ressalta que com a ascensão do rodoviarismo Getúlio Vargas passou a estatizar parte da malha nacional. O que levou a esta estatização e decadência do setor ferroviário brasileiro pode ser explicado pela concentração dos investimentos no modo rodoviário e a falta de sentido econômico nos traçados primitivos, onde as atividades que davam lucro não traziam mais o retorno esperado. Além do mais, o estudo da CNT (2013) aponta que nesta época o índice de rodovias pavimentadas crescia no território brasileiro, competindo com as ferrovias por recursos públicos e investimentos. Apesar de todas essas dificuldades a malha ferroviária expandiu-se em mais de 8.000 km de 1920 até 1950. A justificativa deste crescimento está relacionada ao fato de os trens movidos a vapor terem sido substituídos por locomotivas de tração elétrica e posteriormente por motores a diesel, gerando eficiência às ferrovias.

Finger (2013) relata que a política voltada para o rodoviarismo iniciada por Washington Luís e continuada pelos governos posteriores, foi oficialmente assumida por Juscelino Kubitschek. Em muitos casos, os trilhos foram substituídos por estradas de rodagem. Márcio SILVEIRA (2007) complementa que a “Era Kubitschek” incentivou o processo de industrialização do Brasil, e trouxe consigo a entrada das indústrias

automobilísticas. Foi também durante o governo de Juscelino que em 1957 foi criada a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), vinculada ao Ministério dos Transportes, com o objetivo de integrar sob uma mesma administração, a rede ferroviária pertencente a União (CNT, 2013). Márcio SILVEIRA (2007) aponta que a criação da RFFSA trouxe avanços para o setor, com redução de déficits, modernização da malha e o aumento de cargas transportadas. Estas melhorias adiaram, mas não isentaram o setor da decadência nos anos seguintes.

O estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) de 2010 ressalta que a malha ferroviária do estado de São Paulo não foi incorporada a RFFSA, mas sim à estadual Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA). Com a crise do petróleo na década de 70 e as sucessivas crises vivenciadas pelo Brasil nas décadas seguintes, a situação da RFFSA e da FEPASA tornou-se crítica. Sem investimentos na malha ferroviária e com o sucateamento do modal, as dívidas não paravam de crescer. Finger (2013) ainda aponta outros fatores para a gradual decadência do sistema ferroviário, como a desvinculação entre os traçados das linhas existentes e os novos polos econômicos do país estabelecidos após o processo de industrialização, sem contar com a falta de padronização de bitolas e material rodante.

A partir de 1995 tem início o processo de desestatização das ferrovias da RFFSA e da FEPASA, concedidas a empresas privadas, gerando forte processo de reestruturação no setor ferroviário brasileiro (Márcio SILVEIRA, 2002). O governo federal dividiu as superintendências da RFFSA em seis malhas: Estrada de Ferro Tereza Cristina, Malha Centro-Leste, Malha Nordeste, Malha Oeste, Malha Sudeste e Malha Sul. Resende e outros (2009) relatam que a fragmentação da rede ferroviária do Brasil, concedendo-a à iniciativa privada, respeitou os corredores de exportação e eixos internos de fluxos de produtos, principalmente o minério de ferro. Não foi o melhor modelo de concessão, mas o que era possível na época. Os investimentos do governo na malha ferroviária foram reduzidos significativamente entre 1980 e 1992, logo eram necessárias aplicações financeiras urgentes no setor.

Segundo Márcio SILVEIRA (2002), o processo de concessões foi estimulado por uma crença de que isso desoneraria o Estado de encargos operacionais e por outro lado os investimentos privados resultariam em uma maior eficiência operacional, investimentos em material rodante e via permanente e a redução do “*Custo Brasil*” nos transportes ferroviários. Algumas concessionárias conseguiram avanços significativos, já outras se encontram sucateadas e contribuindo muito pouco para o desenvolvimento da sua região de influência. A CNT (2013) relata que o período de concessão foi estipulado em 30 anos,

prorrogáveis por mais 30 e entre as obrigações das concessionárias destacam-se: o aumento da produção anual das ferrovias, a redução do número de acidentes e garantir o tráfego mútuo ou, no caso de impossibilidade, permitir o direito de passagem a outros operadores de transporte ferroviário. A ANTF (2004) complementa que o ciclo foi fechado. O que surgiu privado no século XIX, foi estatizado com a criação da RFFSA e agora foi devolvido ao setor privado com as concessões da década de 90.

### **2.1.1. História das Ferrovias no Paraná**

Desde muito antes da emancipação política da Província do Paraná em 1853, a preocupação com a abertura de caminhos era preponderante entre os “*curitibanos*” (BORGES, 2018). Segundo Borges (2018), são lembrados três caminhos que foram utilizados para transpor a Serra do Mar e chegar ao litoral. O caminho do Arraial data do século XVI, sendo o mais antigo, e foi aberto por mineradores a partir de uma trilha. O caminho da Graciosa também foi aberto a partir de uma trilha primitiva, utilizada pelos índios e descoberto por mineradores e era o mais longo dos caminhos. Em 1873 foi entregue ao tráfego a Estrada da Graciosa, sendo a segunda estrada calçada do país e por muito tempo a única ligação carroçável, entre o litoral e o planalto no Paraná. O caminho do Itupava foi o mais importante dos caminhos, transitavam por ele comerciantes e aventureiros. Embora fossem péssimas as condições de tráfego era o percurso mais curto, enquanto levava-se dois dias para chegar ao litoral por ele, nos outros caminhos o trajeto era feito de três a quatro dias.

Borges (2018) relata que em 1871 houve a primeira concessão de estradas de ferro no estado, seria a Estrada de Ferro Dona Isabel ligando Antonina a Curitiba, porém a sua construção foi sequer iniciada por falta de investimentos. Em 1872 na segunda concessão os trabalhos foram iniciados, porém paralisados poucos meses depois também por falta de financiamentos. A primeira ferrovia do estado só iria sair em 1885, porém antes disso precisava de um investidor e decidir o seu marco zero. Depois de muitas divergências entre as lideranças das duas cidades portuárias, Antonina e Paranaguá, o decreto imperial nº 5.912, determinou que o ponto inicial da ferrovia fosse o Porto Dom Pedro II, em Paranaguá. Em 1879, os direitos de construção da ferrovia foram obtidos por uma empresa francesa. Em 1885 a Estrada de Ferro do Paraná foi inaugurada, contando com 110 km, 420 obras de arte, incluindo 13 túneis e 30 pontes, estando o ponto mais alto da linha a 955 m acima do nível do mar.

Kroetz (1985) ainda ressalta que houve uma mudança no traçado original. Para que o Porto de Antonina não ficasse afastado da ferrovia, foi construído o ramal de Morretes a Antonina. O arrojo técnico para transpor quase 1.000 m de Serra do Mar colocou a ferrovia como uma das obras ferroviárias mais difíceis do mundo para a época, custando pouco mais de onze mil contos de réis. Após a Proclamação da República em 1892, inaugurou-se a linha do prolongamento de Curitiba a Ponta Grossa com 185 km. A Figura 1 mostra o mapa ferroviário do Paraná entre 1885 e 1895, a linha vermelha destaca a Estrada de Ferro do Paraná, a linha rosa os ramais de Rio Negro e Antonina e a linha azul o prolongamento até Ponta Grossa. Vale destacar que a linha verde mostra projetos em desenvolvimento, ou seja, já se pensava numa estrada de ferro conectando o oeste do estado ao Porto de Paranaguá.

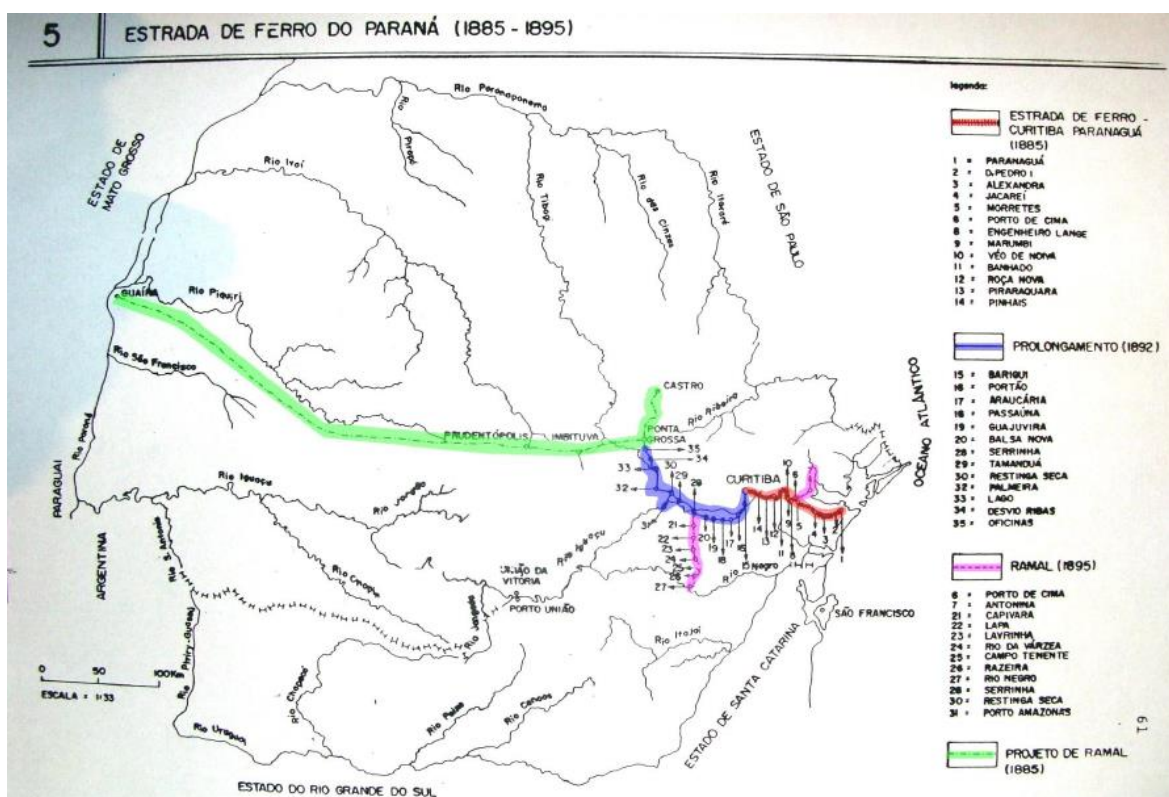


Figura 1- Estradas de Ferro do Paraná (1885-1895)

Fonte: As Estradas de Ferro do Paraná 1880-1940, Kroetz (1985)

Segundo Kroetz (1985), logo após a sua inauguração a ferrovia ainda sofreu forte concorrência da Estrada da Graciosa, que se encontrava toda macadamizada e passavam ali por ano cerca de 800 carroças. A Estrada de Ferro do Paraná, do ponto de vista econômico, visava a exportação da erva-mate e da madeira, dois produtos extremamente importantes na produção do estado para o porto de Paranaguá. A ferrovia teria a finalidade ainda do transporte de passageiros e mercadorias de qualquer espécie em vagões rebocados por

locomotivas. A bitola escolhida foi a métrica devido a complexidade da obra. No final do século XIX a exportação da erva-mate entrou em crise, o que provocou certa turbulência nos rendimentos da ferrovia.

Outra importante ferrovia para o estado do Paraná foi a Estrada de Ferro de Guarapuava, desejava-se ligar o Porto de Paranaguá até Guarapuava, atravessando a Serra da Esperança, e depois atingindo a fronteira com o Paraguai. Kroetz (1985) relata ainda que esta foi uma construção de imprescindível utilidade para o aproveitamento das riquezas existentes no oeste do estado. Mesmo com a crise mundial dos anos 30, a construção da ferrovia em 1934 mostrou-se viável.

Em um contexto geral, Kroetz (1985) afirma que a maioria das ferrovias paranaenses mantiveram as antiquadas características técnicas de uma era já ultrapassada. A Estrada de Ferro do Paraná teve dificuldades em transpor a Serra do Mar, resultando em um traçado sinuoso com muitas rampas pronunciadas e curvas fechadas. Observa-se que as demais ferrovias contavam com as mesmas características devido à escassez de investimentos em suas construções. Tudo isso resultou em uma baixa média de capacidade de carga e de velocidade dos trens. Como ocorreu em todo o Brasil, a evolução das ferrovias no Paraná está relacionada à necessidade de escoamento dos produtos agrícolas ao litoral e de integração das cidades. Vale lembrar que mesmo em regiões onde a ferrovia concorreu com outras formas de transporte ela desempenhou papel preponderante na condução de bens e passageiros, como foi o caso do trecho entre Curitiba e Paranaguá. É importante destacar também que o capital estrangeiro foi primordial para a construção das ferrovias. No entanto, as elites dominantes, ao contrário do que aconteceu em Santa Catarina, não deixaram que as concessionárias estrangeiras interferissem na extração de erva-mate e madeira, ficando restrito à sua participação apenas ao transporte destes materiais.

Com as concessões das ferrovias brasileiras na década de 90, os trechos paranaenses existentes na malha da antiga RFFSA foram incorporados pela América Latina Logística Malha Sul S.A. (ALLMS), que depois virou Rumo Malha Sul S.A. Já a Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. (FERROESTE) é uma sociedade de economia mista que tem o Governo do Paraná como o seu maior acionista. A Ferroeste recebeu em 1988 a outorga da concessão para construir e explorar uma ferrovia que ligasse Guarapuava até Dourados no Mato Grosso do Sul. Em 1994 o primeiro trecho foi inaugurado indo de Guarapuava até Cascavel. Em 1996 a Ferroeste foi privatizada, sendo o consórcio vencedor a Ferrovia Paraná S.A.

(FERROPAR). Porém, após não cumprir metas de transporte de cargas e deixar de fazer investimentos previstos, em 2006 o Estado do Paraná retomou o controle da ferrovia.

## **2.2. Panorama Atual da Malha Ferroviária Brasileira**

Segundo o estudo da CNT (2013) a malha ferroviária brasileira alcançou, em 2012, 30.129 km de extensão, incluindo trens urbanos de passageiros. Comparando com a malha que o território do país já teve nos tempos áureos das vias férreas, que era praticamente a mesma extensão da atual ou quando chegou perto dos 40.000 km na década de 60, pode-se pensar que o Brasil parou de investir neste setor. Porém, a redução na malha ferroviária foi uma tentativa de eliminar vias deficitárias e ramais antieconômicos. Aproximadamente 8.000 km de linhas foram desativadas desde a década de 60.

De 2012 até os dias atuais o panorama do modal ferroviário pouco mudou no Brasil. Segundo a declaração de rede da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) de 2015 a extensão da malha ferroviária era de 30.576 km, sendo que destes 29.165 km voltado para o transporte de cargas, colocando o país com uma densidade da malha ferroviária em torno de 3,4 km de linhas férreas por mil km<sup>2</sup> de território. Isto é muito pouco se compararmos com o país vizinho, a Argentina, que possui uma densidade de pouco mais de 13 km de linhas por mil km<sup>2</sup>.

O anuário estatístico do setor ferroviário da ANTT de 2018 aponta para uma produção de transporte de cargas de 569.872 milhares de Toneladas Úteis (TU), o que revela um avanço se comparado à mesma produção do ano de 2006 que foi de 389.113 milhares de TU. O estudo também mostra que a produção de 2018 foi de 407.300 milhares de Tonelada-Quilômetro Útil (TKU), enquanto em 2006 houve uma produção de apenas 238.372 milhares de TKU. Segundo a ANTT, TU é o total de carga movimentada no transporte remunerado, enquanto a TKU é a unidade de medida equivalente ao transporte de uma tonelada útil a distância de um quilômetro. A produção do modal ferroviário é medida em TKU.

Para a CNT (2013), o crescimento considerável na produção de transporte de cargas ferroviário se deve muito ao minério de ferro. Isto é corroborado pelo anuário estatístico da ANTT que mostra que dos 569.872 milhares de TU, 441.376 foram de cargas de minério de ferro. Em segundo lugar aparece o transporte de soja e farelo de soja somando 38.903 milhares de TU. As regiões Centro-Oeste e Sul concentram a maior parte dos polos produtivos do grão de soja. O principal modal utilizado no escoamento destes grãos ainda é o rodoviário, mas as ferrovias já respondem por importante parcela na logística do produto. Os estados que mais utilizaram o transporte ferroviário para este tipo de produto foram o Mato Grosso e o Paraná.



### 2.2.1. Panorama Atual da Malha Ferroviária Paranaense

Segundo a Secretaria de Infraestrutura e Logística do Paraná (SEIL) a malha ferroviária do estado é composta por aproximadamente 2.400 km de ferrovias, sendo destas 2.039 km concessionados pelo governo federal à Rumo Malha Sul S.A. e 248,5 km concessionados ao Governo do Estado do Paraná, cuja administração e operação é executada pela Ferroeste. Toda a extensão da malha está em bitola métrica (1,000 m).

Ao analisar a Figura 2, nota-se que somente a Rumo Malha Sul, com as linhas em vermelho, possui acesso direto aos portos de Antonina, Dom Pedro II em Paranaguá e São Francisco do Sul em Santa Catarina. Este fato denota a dependência operacional da Ferroeste, com a linha em verde, para o escoamento da produção de grãos do oeste do estado ao litoral.

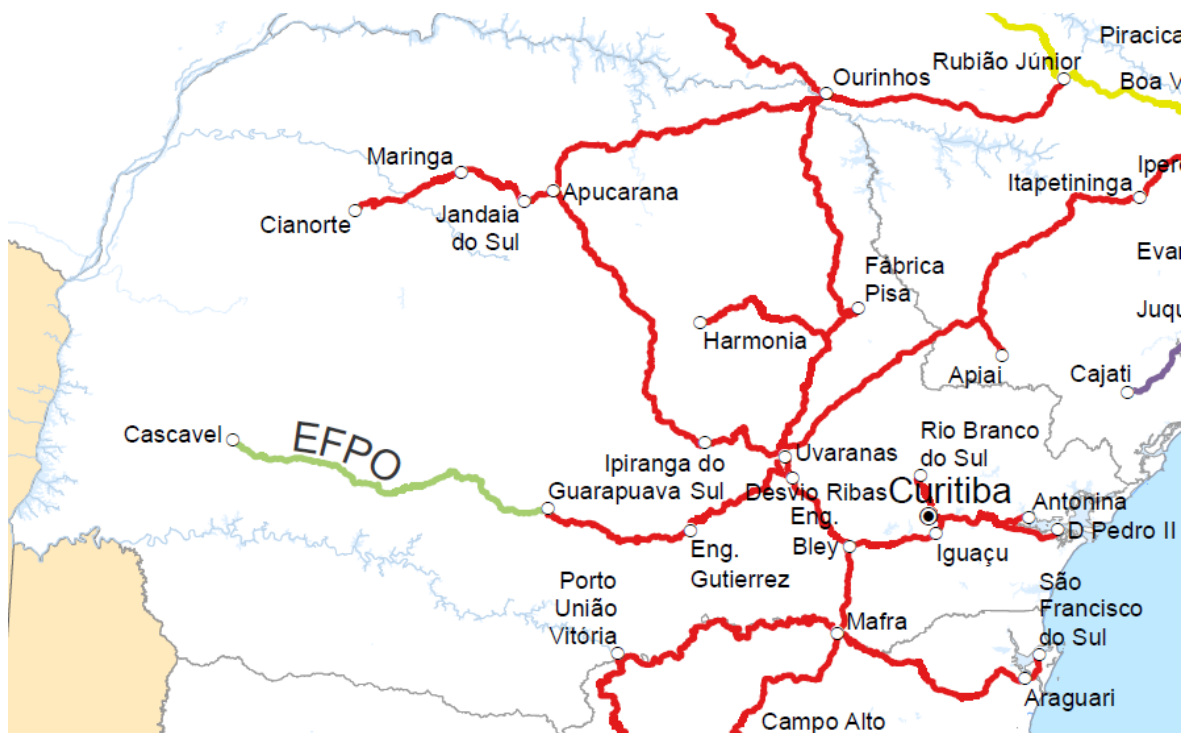


Figura 2 - Mapa Ferroviário do Paraná 2019

Fonte: Recorte do Mapa do Subsistema Ferroviário Federal da ANTT, 2019

Segundo o Anuário Estatístico da ANTT de 2018, a Ferroeste movimentou 468 milhares de TU, sendo destes 409 em soja e farelo de soja o que destaca a importância deste grão para a economia do oeste paranaense. A Velocidade Média Anual Comercial (VMC) foi de 22,61 km/h e a Velocidade Média de Percurso (VMP) foi de 25,88 km/h, padrões

acima da média nacional por ser um traçado relativamente novo, ressaltando que os gargalos físicos e operacionais atuais estão concentrados na malha da Rumo.

O Estudo Corredor Oeste de Exportação do Estado do Paraná (Corredor Oeste), produzido em 2017 pela Secretaria do Planejamento e Coordenação Geral do estado, Secretaria de Infraestrutura e Logística e diversos colaboradores apontou a dificuldade de se colocar em prática o exercício de direito de passagem no Paraná pelo fato de só haver um acesso ferroviário ao Porto de Paranaguá, principal destino das cargas ferroviárias. Ou seja, um único operador é o responsável pelo transporte de cargas até o litoral, no caso a Rumo Malha Sul. Este fato impossibilita que a Ferroeste atenda integralmente o objeto do Contrato de Concessão original na área de influência do corredor oeste de exportação, posto que suas locomotivas não alcançam os portos em seus próprios trilhos, no trecho entre Guarapuava e Paranaguá a Ferroeste utiliza-se da malha operada pela Rumo.

A situação da malha ferroviária paranaense ainda é agravada pelo fato de o trecho entre Guarapuava e Ponta Grossa possuir um traçado sinuoso e em condições desfavoráveis na Serra da Esperança, o que diminui a capacidade de aumento da produção de cargas ferroviárias pela Ferroeste, uma vez que o trecho que dá continuidade à sua malha está no limite da sua capacidade. Conforme mostra a Figura 3, as partes em vermelho representam que a capacidade da ferrovia ultrapassou os 80%, os trechos em laranja significam que a capacidade da ferrovia está entre 50 e 80% e por fim as partes em verde menos que 50%. A figura também apresenta outro ponto crítico para o escoamento da produção do oeste, que é o trecho entre Curitiba e Paranaguá que hoje opera em sua capacidade máxima, ainda com um traçado antigo e pouco eficiente para transpor a Serra do Mar, dado que este recebe as cargas oriundas da Ferroeste e também dos ramais da Rumo do norte do Estado, com destaque para a produção das cidades de Maringá e Londrina.



Figura 3 - Capacidade Operacional da Malha Paranaense

Fonte: Ocupação Percentual da Malha Federal, ANTT, 2019, adaptado pelo autor

Segundo o estudo dos Entraves Logísticos ao escoamento da Soja e do Milho, produzido pela CNT em 2015, o destino das exportações produzidas no estado do Paraná é predominantemente o Porto de Paranaguá. A produção originada no Oeste é escoada basicamente pela rodovia BR-277, enquanto um volume menor utiliza-se da Ferroeste até Guarapuava, seguindo pela malha da Rumo até o porto. A produção originada no Centro e Norte utiliza-se da BR-487 e da BR-376, uma parte também é transportada pela Rumo. Pelo modal ferroviário, a maior parte da produção transportada é embarcada nos terminais de Londrina e Maringá. A Figura 4 mostra as vias utilizadas para o escoamento da soja e do milho do estado até os portos de Paranaguá e São Francisco do Sul.

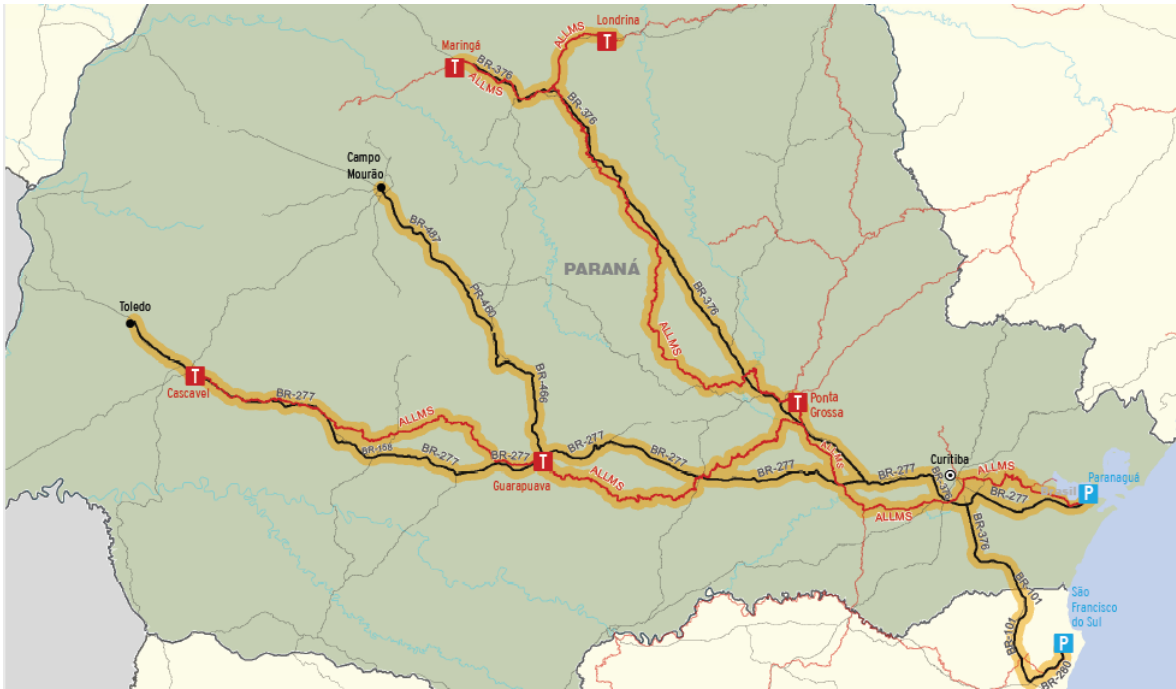


Figura 4 - Principais Rotas de escoamento da Soja e do Milho provenientes do Paraná

Fonte: Entraves Logísticos ao Escoamento da Soja e do Milho, CNT, 2015

### 2.3. A Importância do Modal Ferroviário no Transporte de Cargas de Exportação e sua Comparação com Outros Modais

As Tabelas 1 e 2 apresentam dados referentes à importância do modal ferroviário no Brasil e no mundo, respectivamente:

Tabela 1 - Matriz do Transporte de Cargas no Brasil

MATRIZ DO TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL 2018			
Modal	Milhões (TKU)	Participação (%)	
Rodoviário	485.625	61,1	
Ferrovário	164.809	20,7	
Aquaviário	108.000	13,6	
Dutoviário	33.300	4,2	
Aéreo	3.169	0,4	

Tabela 2 - Matrizes do Transporte de Carga pelo Mundo

MATRIZES DO TRANSPORTE DE CARGAS PELO MUNDO 2014			
Rússia	81% Ferroviário	11% Aquaviário	8% Rodoviário
Canadá	46% Ferroviário	43% Rodoviário	11% Aquaviário
Austrália	53% Rodoviário	43% Ferroviário	4% Aquaviário
Estados Unidos	43% Ferroviário	32% Rodoviário	25% Aquaviário
China	50% Rodoviário	37% Ferroviário	13% Aquaviário

Fonte: Elaborado pelo Autor com base no Boletim Estatístico da CNT (2019) e no Plano Nacional de Logística e Transportes (2014)

Ao comparar Tabela 1 - Matriz do Transporte de Cargas no Brasil e a Tabela 2 - Matrizes do Transporte de Carga pelo Mundo, percebe-se que o modal rodoviário é predominante no Brasil, para o transporte de cargas. Em análise com países que têm extensões territoriais semelhantes ao nosso, a discrepância entre a participação do modal ferroviário é alarmante, uma vez que segundo a CNT (2013) cargas de alta tonelage são preferencialmente transportadas por ferrovias, em especial quando é necessário percorrer grandes distâncias. Conforme mostra a Figura 5, a partir de 40 toneladas o modal ferroviário é mais vantajoso independente da distância percorrida.

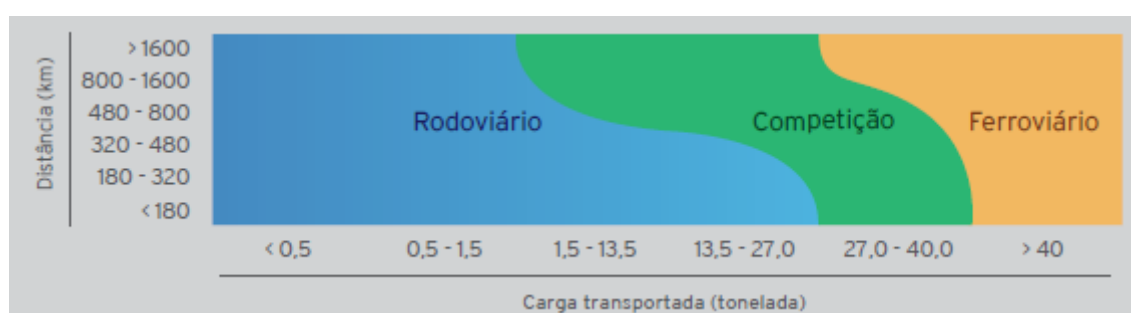


Figura 5 - Competição entre os Modais em relação a distância percorrida e carga transportada

Fonte: Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro, CNT, 2013

A atual matriz de transportes brasileira, ao priorizar o modal rodoviário em rotas que o ferroviário seria o mais eficiente, acaba por penalizar a produção e os produtores agrícolas do país, por conta dos custos logísticos. Conforme a CNT (2015) os custos logísticos, assim como os outros tipos de custos, são computados para a determinação do preço do bem ou serviço, sendo que quanto mais elevados, maior a sua participação no valor final da produção. O maior impacto devido a este custo é sentido nos setores cujos produtos são de baixo valor agregado, ou seja, nos principais produtos exportados pelo Brasil como o minério de ferro e a soja. No mercado interno com a adição dos gastos de logística temos o efeito de aumento dos preços e perda de competitividade dos produtos de uma região mais distante, comparado a produtos provenientes de lugares mais próximos do mercado consumidor. Ballou (2001), complementa ainda, que em um país com uma infraestrutura precária a abrangência do mercado fica limitado às áreas ao redor do ponto de produção. Já nos produtos destinados à exportação, estes custos se refletem na diminuição do lucro dos produtores, visto que não é possível encaixar os custos logísticos no preço final do produto. O transporte é geralmente o elemento mais importante nos custos logísticos para a maioria

das empresas, a movimentação de fretes absorve entre um a dois terços do total dos custos logísticos, afirma Ballou (2001).

Segundo Márcio SILVEIRA (2002), o termo logística vem do francês *logistique* e foi desenvolvido pelos militares para organizar as estratégias de abastecimentos dos batalhões durante as guerras, assim nenhum tipo de suprimento como armas, munições, alimentos e medicamentos faltaria. A importância da logística no Brasil deu-se com a abertura da economia nacional à competição globalizada e às concessões no setor dos transportes no final da década de 90. A logística se ocupa de todas as atividades de movimentação e armazenagem as quais possibilitam o fluxo dos materiais desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto final de consumo, tendo como principal objetivo garantir níveis de serviço adequados aos clientes (BALLOU, 1993). A CNT (2015) enfatiza que as características propícias para um grande potencial agrícola do país só serão convertidos em vantagem competitivas caso exista um sistema logístico eficaz, uma vez que isto está diretamente relacionado à disponibilidade e à qualidade da infraestrutura logística existente. Os problemas logísticos no Brasil vão muito mais além da carência e da má qualidade da infraestrutura, pois há uma inadequada distribuição modal e falta incentivo para a intermodalidade.

A Greve dos Caminhoneiros, ocorrida em maio de 2018, onde o transporte rodoviário do país foi quase que totalmente paralisado por causa de protestos contra o aumento do preço do diesel, culminou em um caos instaurado nas cidades onde havia escassez de combustíveis nos postos e de alimentos nos supermercados, como demonstra G1 (2018). Isto colocou em voga a nossa dependência do modal rodoviário e retomou os debates de modernização e readequação da infraestrutura priorizando também outros tipos de modais, especialmente o ferroviário.

As principais vantagens da ferrovia em comparação aos outros modais para Paiva (2016) são: utilizar faixa de domínio com menor largura que a rodovia, utilizar faixa exclusiva que permite operação segura e segregada, permitir o deslocamento de grandes volumes de cargas em uma só composição veicular, construir a infraestrutura com moderado impacto ambiental e o baixo preço da tonelagem transportada. Airton SILVEIRA (1998) complementa ainda que o material rodante das ferrovias gera menor consumo de combustível fornecendo competitividade aos produtos nacionais por possuir menores custos reais, e proporciona uma melhor qualidade de vida às pessoas ao redor, em decorrência da menor emissão de poluentes das locomotivas, menor risco de acidentes envolvendo terceiros

e menor congestionamento nas rodovias. Para Reis (2007), o transporte ferroviário apresenta alto custo fixo por causa do arrendamento da malha e dos terminais, uma vez que no Brasil eles são na sua maioria operados pelo setor privado, e por causa do elevado volume de capital imobilizado com a compra de material rodante. Em contrapartida os custos variáveis como mão de obra, combustível e energia são relativamente baixos, o que torna o modal ferroviário o mais propício para transporte de mercadorias de baixo valor agregado em volumes altos a grandes distâncias. Santos (2005) destaca que as ferrovias tracionando cargas volumosas em longos trechos distribuem os custos fixos elevados característicos das ferrovias diminuindo os custos variáveis. Porém, considerando longas distâncias a participação do modal ferroviário no Brasil diminui bastante e perde mercado para os outros tipos de modais.

Resende et al. (2009) afirmam que investimentos maiores, sobretudo nos corredores agrícolas, escoando a produção do Centro-Oeste para os portos do Sul e Sudeste e abrindo novos caminhos que levem a produção para os portos do Nordeste e do Norte, possibilitará o modal ferroviário atingir até 35% de participação na matriz equiparando-se mais à realidade de outros países com porte territorial equivalente ao Brasil. Além disso é preciso aprimorar o modelo de concessão, fiscalizar e controlar as invasões das faixas de domínio, e especialmente, garantir ambientes mais favoráveis a investimentos do capital privado para a expansão física da malha ferroviária brasileira. Para Resende et al. o processo de concessão ferroviário brasileiro trouxe inúmeros benefícios ao país como: a melhoria da condição operacional da via permanente, substituição de material rodante sucateado, introdução de novas tecnologias de controle de tráfego e queda significativa no índice de acidentes. Esse processo desencadeou novos desafios para as concessionárias em termos de necessidade de melhoria contínua da malha nacional.

Do ponto de vista econômico, para Falcão (2013) a principal finalidade dos transportes é promover o desenvolvimento de um país pelo escoamento de pessoas e de mercadorias movimentando assim a economia. No caso do modal ferroviário esse papel é ainda mais importante por intervir no deslocamento de mercadorias oriundas das indústrias de base. Porém, no Brasil o sistema ferroviário ainda não atingiu o ápice de eficácia e operação. Este mau aproveitamento acontece basicamente pela indisponibilidade de rotas e redução na flexibilidade das operações, além da concorrência desleal com o *lobby* rodoviário. Lucas e Bellini (2016) afirmam que com a expansão das fronteiras agrícolas e industriais de um país, este passa a exigir maior mobilidade. Com o desenvolvimento econômico, tem-se um aumento no percurso dos deslocamentos, bem como na transferência dos volumes de carga.

A CNT (2013) aponta que o principal modal utilizado para o escoamento da soja produzida no Mato Grosso é o rodoviário, apesar da crescente participação das ferrovias. Se contarmos os custos do transporte da soja da região Centro-Oeste até um porto na região sudeste pelo modal rodoviário isto significa perdas de competitividade para o agronegócio. Logo, existe a clara necessidade de outras rotas para o escoamento desde produto destinado à exportação. Nessa perspectiva, novas ferrovias se apresentam como a solução mais eficiente. A Figura 6 indica simulações de quatro rotas factíveis para escoar a soja de Lucas do Rio Verde -MT até os portos. Os custos R\$/t foram menores quando escolhido o modal ferroviário ou a intermodalidade. Vale destacar que o custo mais alto foi o percurso até o porto de Paranaguá somente por rodovias. Entretanto, com o projeto da Nova Ferroeste poderá ser possível no futuro o escoamento da soja neste percurso via ferrovias ou através da intermodalidade por um custo mais baixo.

Síntese dos resultados da simulação				
	Origem	Destino	Modal	Custo (R\$/t)
Rota 1	Lucas do Rio Verde - MT	Paranaguá	Rodoviário	232,74
Rota 2		Santos	Rodoviário/Ferroviário	158,28
Rota 3		Itaqui	Ferroviário	148,58
Rota 4		Itaqui	Rodoviário/Ferroviário	211,961

Figura 6 - Rotas de Escoamento da Soja do Centro-Oeste até os portos e os seus custos

Fonte: Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro, CNT, 2013

De acordo com o estudo de Fleury (apud IPEA, 2010), as maiores dificuldades alegadas pelos embarcadores para o não uso das ferrovias são: a indisponibilidade de rotas, a redução na flexibilidade das operações, a baixa velocidade, os custos e a indisponibilidade de vagões. A maioria destes problemas que desestimulam o uso do modal ferroviário poderiam ser reduzidos ou eliminados com a realização de investimentos adequados na infraestrutura do país. A indisponibilidade de rotas está vinculada tanto às estratégias de operação por parte das concessionárias, sobre quais serviços irão prestar e quais rotas serão atendidas, quanto à inexistência de linha ferroviária na rota ou falta de capacidade da linha já existente. Para resolver este problema uma das soluções corrobora com a tese da necessidade de construção de novas vias no Brasil, capazes de transportar as cargas através do território para os nós de distribuição interna e para os portos.

Devido às características das cargas transportadas no modal ferroviário e à deficiência operacional das concessionárias em viabilizar o transporte de carga geral, para Resende et al. (2009) este modal é utilizado na sua maioria por grandes empresas, ficando



os pequenos produtores reféns das rodovias para o transporte de suas cargas. O minério de ferro e seus derivados são produtos cuja propriedade pertence a alguma das principais controladoras das ferrovias brasileiras tais como a Vale, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), a Usiminas e a Gerdau. Santos (2005) aponta que nos Estados Unidos as ferrovias que tradicionalmente sempre movimentaram granéis e grãos agrícolas agora também transportam cargas gerais de alto valor agregado, em alguns trechos no Brasil as ferrovias já movimentam cargas com maior valor agregado concorrendo com o modal rodoviário. Resende et al. (2009) complementam ainda que o Brasil não pode mais suportar a falta de planejamento integrado entre as concessionárias, uma vez que isto acarreta redução no potencial de tomada de decisão a favor da ferrovia, principalmente quando o embarcador necessita que o prazo de entrega seja cumprido.

Castro (2002) já alertava para a baixa participação ferroviária no transporte de cargas e a importância da sua expansão em virtude de o frete unitário médio da ferrovia ser aproximadamente um terço do rodoviário, embora esses valores mascarem diversos fatores. Um deles é a distância de transporte, que no caso do Brasil a participação do modal ferroviário é maior nas curtas distâncias, nas quais as vantagens comparativas de custo e de serviço são mais limitadas. Para Coeli (2004), o aumento da distância média de transporte percorrida esbarra na baixa integração entre as ferrovias e na falta de uma regulamentação efetiva quanto ao direito de passagem e com isso muitas oportunidades estão sendo perdidas. Clientes que transportam grandes volumes apresentam ganhos ao optar pelo modal ferroviário em função da redução da complexidade administrativa, visto que é mais simples coordenar um único embarque de um trem com 5 mil toneladas do que 200 carretas com 25 toneladas cada.

No Brasil, a partir da segunda metade do século XX, foi dada ampla valorização ao transporte rodoviário em detrimento das ferrovias e, como consequência, a infraestrutura ferroviária tornou-se insuficiente e deficitária (Márcio SILVEIRA, 2002). Resende et al. (2009) ainda complementam que o transporte ferroviário brasileiro vem apresentando sinais que direcionam para graves problemas, principalmente por termos uma cultura toda voltada para o transporte rodoviário. Já Vianna (2007) contrapõe esta ideia que o país investiu em demasia em transporte rodoviário e pouquíssimo nos demais modais dando o status de país rodoviarista, para ele os investimentos em rodovias também foram ínfimos, basta ver que o percentual de rodovias pavimentadas no Brasil é de apenas 12%, muitas delas concedidas à iniciativa privada. Chegou-se então no pior dos mundos com rodovias malconservadas e sem perspectivas de ganhar novas estradas ou mesmo outras alternativas de transportes. O

transporte então acontece com custos e prazos cada vez maiores, sendo imprescindível a recuperação, modernização e pavimentação da malha rodoviária brasileira, assim como investimentos nas outras modalidades e nos enlaces de integração entre elas. Vianna ainda ressalta o fato que enquanto a diretriz da política de transporte for a mudança da matriz de transporte de cargas para propiciar a redução do modal rodoviário unicamente movido pelo anti-rodoviarismo irracional, a infraestrutura do país ainda continuará comprometida, pois não adianta nada investimentos maciços nos modais ferroviário e aquaviário se continuarmos com rodovias precárias. O ideal seria adotar ações voltadas à melhoria dos três modais simultaneamente e o incentivo às operações multimodais aproveitando o melhor de cada modal.

Santos (2005) ressalta que o fraco desempenho do setor rodoviário agravado pelas rodovias malconservadas, acaba por adicionar aos produtos o “*Custo Brasil*”, uma vez que os exportadores são obrigados a cortarem custos em outros setores, por outro lado o setor ferroviário opera com a maior parte da malha em condições deficientes, onde as vantagens da ferrovia não prevalecem sobre a rodovia. Filardo et al. (2005) complementam ainda que os valores do transporte rodoviário e rodoferroviário estão muito próximos e que o preço do transporte independe da via de escoamento escolhida, exceto grandes contratos que conseguem obter descontos no percurso ferroviário. Assim, são necessários investimentos e modernização em todos os modais para eliminar-se os gargalos logísticos. Resende et al. (2009) apontam que em certas situações, pelo excesso de oferta do transporte rodoviário, mesmo em longa distância ele acaba sendo mais barato que o ferroviário, não fazendo sentido contratar uma ferrovia já que uma infinidade de caminhões pode fazer o percurso de forma menos eficaz, porém mais barata.

Lacerda (2009) apresenta as desvantagens do modal rodoviário: além do gasto de combustível por tonelada-quilômetro transportada ser maior, o que acarreta mais poluição do meio ambiente, os caminhões são a principal causa do desgaste nas rodovias, sem contar que eles estão relacionados a um grande número de acidentes e congestionamentos nas estradas. As economias de escala são irrisórias no transporte rodoviário, no entanto são grandes nas ferrovias, permitindo-lhes oferecer fretes mais baratos. Ao analisarmos o panorama atual da malha ferroviária da América do Sul, nota-se como já mencionado anteriormente, que as vias existentes foram construídas antes da Segunda Guerra e permanecem com a mesma configuração nos dias de hoje, contendo trajetos sinuosos e de baixa velocidade. Por essa razão, a distância ferroviária entre São Paulo e Buenos Aires é de 2.800 km enquanto a mesma rota por rodovias modernas e duplicadas possui 2.500 km. As

diferenças notáveis das duas infraestruturas colaboram para diferentes tempos de viagem neste percurso: o transporte de contêineres realizado por ferrovias dura em torno de 12 dias, enquanto o transporte rodoviário pode cumprir o trajeto na metade do tempo a depender da demora nas alfândegas.

Bowersox e Closs (2001), comparam os outros tipos de modais existentes para o transporte de cargas e suas peculiaridades:

#### Modal Rodoviário:

Este modo de transporte é o mais indicado para movimentar cargas de pequeno volume, de alto valor agregado, em curtas distâncias. O Brasil sendo um país com uma grande extensão territorial onde as distâncias percorridas são enormes e há um destaque na exportação de produtos com baixo valor agregado, o transporte rodoviário não deveria predominar. Porém a flexibilidade operacional deste modal é a melhor de todas, uma vez que é o único que faz o transporte porta-a-porta. Além disso o investimento fixo necessário para iniciar uma operação é o menor de todos, uma vez que pequenas empresas iniciam e interrompem suas operações facilmente em determinada localidade de acordo com as necessidades impostas. Na realidade brasileira vivida no meio do século XX, a industrialização crescente e o rápido desenvolvimento do interior exigia a construção imediata de uma infraestrutura de transportes. Construir rodovias, além de ser relativamente barato, é um investimento que pode ser feito em etapas e permite uma capilaridade que nenhum outro meio de transporte proporciona (COELI, 2004). O excesso de oferta deste modal no Brasil causa uma distorção no preço de transporte, que apresenta valores mais baixos se comparado a outros países.

#### Modal Aquaviário:

O modal é composto por navegação de cabotagem, transporte realizado entre portos de um único país, sendo no caso do Brasil uma modalidade bem promissora devido a extensa costa navegável, a navegação de longo curso realizada entre portos de países diferentes e a navegação interior realizada em hidrovias interiores. O foco principal está no transporte de cargas de grande volume, sua principal vantagem. Como desvantagens têm-se os altos tempos, a baixa velocidade de deslocamento e a pequena flexibilidade, sendo necessária a combinação com outros tipos de modais que levem a carga do porto até o destino final. Também é necessário vias marítimas navegáveis para este tipo de transporte, enquanto os

modais rodoviário e ferroviário apresentam maior disponibilidade para a sua operação. Os custos fixos são maiores que o rodoviário, porém menores que o ferroviário.

#### Modal Dutoviário:

O transporte dutoviário funciona quase que ininterruptamente e não solicita nenhum tipo de material rodante como caminhões e trens. É o modal que apresenta maior custo fixo e menor custo variável. Não há nenhuma flexibilidade no trajeto do transporte e há um número limitado de produtos que podem utilizá-lo (apenas aqueles sob a forma de gás, líquido ou semifluido) (COELI, 2004). Destacam-se os oleodutos e gasodutos, que diminuem a quantidade de substâncias perigosas em tráfego nas rodovias e ferrovias. A consistência do serviço e o cumprimento dos prazos acordados são características bem confiáveis neste modal, visto que ele não depende de condições climáticas nem de tráfego.

#### Modal Aeroviário:

O transporte aéreo de cargas destaca-se pela rápida velocidade na entrega de produtos, a maior de todos os modais, porém seu custo muito elevado o torna um modal indicado para carga de pequeno volume e alto valor agregado, por isso sua participação é a menor de todas na matriz do transporte de cargas.

O estudo Entraves Logísticos ao escoamento da Soja e do Milho, produzido pela CNT (2015) mostra a realidade atual brasileira no transporte de cargas das *commodities*. Entre os embarcadores entrevistados todos utilizam rodovias, enquanto 85,7% usam o modal ferroviário e 71,4% o hidroviário. Apesar do modal rodoviário apresentar características menos favoráveis ao deslocamento de grãos em grandes distâncias, a baixa densidade da malha ferroviária e o pouco aproveitamento das hidrovias, devido à falta de investimentos que garantam a navegabilidade dos rios, e a oferta de transportadores ferroviários e hidroviário insuficiente, culminam para a predominância deste modal. Na Argentina a participação do modal rodoviário é de 84% na matriz do transporte da soja, porém as distâncias médias das regiões produtoras até os portos são de até 300 km o que confere vantagem ao se utilizar rodovias. Entretanto, a maioria da produção da soja brasileira se encontra no Centro-Oeste a distâncias bem maiores dos portos no qual o modal rodoviário se torna insatisfatório, semelhante à realidade dos Estados Unidos que apresenta distâncias entre as produções de soja e os portos parecidas com a do Brasil. Porém, a matriz de transporte americana para o escoamento da produção corresponde a 49% pelo modal hidroviário e 31% via ferrovias. Como mostra o ranking de competitividade do Fórum

Econômico Mundial (FEM) 2014/2015, o Brasil possui uma qualidade de infraestrutura aquém dos principais exportadores de soja e ocupa apenas o 96º lugar de 144 países avaliados, conforme mostra a Figura 7. Quando o assunto é a densidade da infraestrutura ferroviária o Brasil possui apenas 3,4 km de linhas a cada 1000 km², muito pouco se comparado aos outros países exportadores de milho e soja, conforme mostra a Figura 8.



Figura 7 - Ranking da Qualidade da Infraestrutura Ferroviária dos Principais Exportadores de Soja e Milho

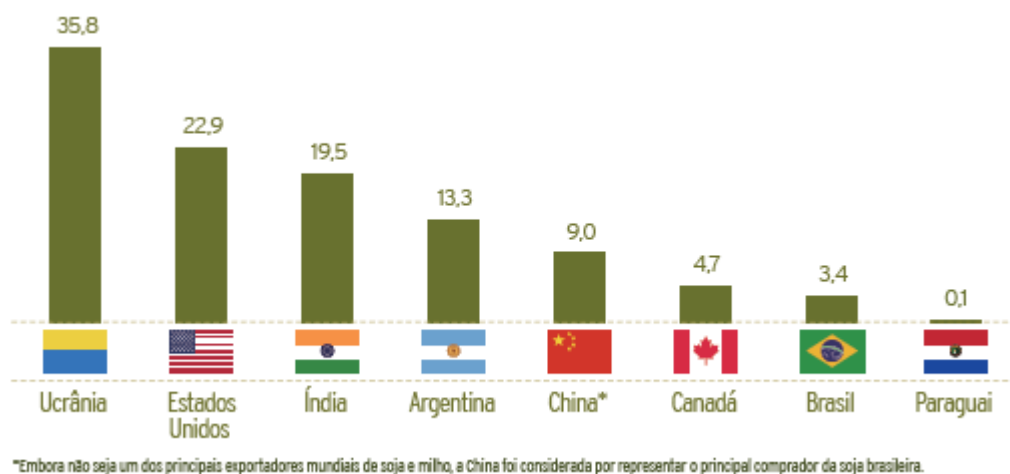


Figura 8 - Densidade da Infraestrutura Ferroviária dos Principais Exportadores de Soja e Milho

Fonte: Entraves Logísticos ao escoamento da Soja e do Milho, CNT, 2015

Ainda segundo o estudo da CNT (2015), a infraestrutura ferroviária brasileira é considerada inadequada às necessidades da economia nacional. A figura mostra os principais entraves do transporte ferroviário, tópicos que serão abordados no subcapítulo seguinte. Entre esses problemas, foi considerado o mais grave a pouca disponibilidade de ferrovias, cenário que coloca em evidência a disparidade entre a capacidade de produção de grãos e de escoamento desses pelas vias brasileiras. A tendência é que o cenário se agrave, dadas as estimativas de crescimento da produção nos próximos anos não acompanhadas de um

investimento em infraestrutura adequado. Novos projetos de ferrovias para o escoamento destes grãos ganham fundamental importância nessa conjuntura.



Figura 9 - Principais Entraves do Transporte Ferroviário

Fonte: Entraves Logísticos ao Escoamento da Soja e do Milho, CNT, 2015

## 2.4. Principais Gargalos e Soluções para o Sistema Ferroviário

Para alcançarem a eficiência e ganhos previstos, os projetos de novas ferrovias no território nacional precisam ser acompanhados de melhorias e soluções dos gargalos físicos e operacionais existentes nos dias de hoje, uma vez que estes projetos quando forem implantados estarão incluídos dentro do sistema logístico brasileiro. Lang (2007), menciona que dentre os principais problemas que comprometem o desenvolvimento da malha ferroviária, destacam-se:

- Falta de padronização das bitolas;
- Falta de uma regulação adequada do modal ferroviário brasileiro e a ineficiência do direito de passagem e tráfego mútuo;
- Invasões nas faixas de domínio das ferrovias e passagens em nível críticas, principalmente nos centros urbanos;
- Necessidade de expansão integrada da malha e fazer uso da intermodalidade.

### 2.4.1. Falta de Padronização das Bitolas

A bitola é a distância entre os trilhos paralelos, tomada por uma linha normal a eles, medida em um ponto situado a uma distância entre 12 e 16 mm, abaixo da superfície

horizontal do boleto do trilho. Cury (2011) destaca que hoje no Brasil é possível encontrar quatro tipos diferentes de bitola: a bitola métrica, com largura de 1,000 m; a bitola larga, com largura de 1,600 m; a bitola padrão, internacional ou standard, com 1,435 m; e a bitola mista, que combina na mesma linha as bitolas métrica e larga. Brina (1988) relata que em 1907, na Conferência Internacional de Berna, ficou oficialmente adotada como bitola internacional a de 1,435 m. Acredita-se que esta distância é correspondente às primeiras ferrovias utilizadas entre Liverpool e Manchester, e também era a distância mais comum encontrada entre as rodas das carruagens, diligências e carroções ingleses. Apesar da eficácia superior das bitolas largas, Tamagusko (2013) relata que devido a uma clara necessidade de padronização da malha e tendo em vista que a maior parte da rede ferroviária inglesa já tinha o padrão de 1,435 m, esta foi a bitola escolhida.

Lacerda (2009) afirma que, para a escolha da bitola em um projeto ferroviário deve-se levar em conta os custos de construção da via e o desempenho operacional desta no seu futuro. As bitolas métricas possuem um custo de construção menor, por causa dos gastos inferiores com volume de lastro, tamanho de dormentes e largura das obras de arte. Outra vantagem da menor distância entre os trilhos está na viabilidade de se construir curvas mais acentuadas, portanto em terrenos montanhosos a diferença entre custos de construção da bitola métrica para a larga é significativa. Porém, a diferença entre o desempenho operacional no transporte de cargas é relativamente pequena, uma vez que este é medido em função dos ângulos das curvas e da inclinação das vias o que delimita a velocidade comercial, não conferindo à bitola larga grandes vantagens. Ao se considerar a realidade brasileira a diferença de custos e desempenhos operacionais entre as duas bitolas não são muito diferentes, mas os prejuízos relativos a variações de bitola, estes sim são consideráveis. As variações de bitola aumentam também os gastos pela obrigação de realizar transbordos de carga entre trens, elevando o tempo de trânsito.

Tamagusko (2013) cita que ao optar-se pela bitola larga em terrenos favoráveis, isso confere à via várias vantagens como maior capacidade de carga e uma melhor estabilidade, permitindo com que se atinja maiores velocidades. O desempenho operacional de uma ferrovia de carga é função dos ângulos das curvas e da inclinação das vias, o que determina sua velocidade comercial (CURY, 2011). Em 1973, o governo brasileiro sancionou a Lei 5.917/73, em vigor até hoje, que trata da revisão do Plano Nacional de Viação de 1964 na qual mantém a bitola “oficial” brasileira com a medida de 1,600 m, conhecida como bitola larga. Cabe salientar que as mais recentes ferrovias construídas no país como a Ferronorte,

a Ferrovia Norte-Sul e a Estrada de Ferro Carajás empregaram a bitola larga durante suas implantações.

A uniformidade de bitola é o fator que mais contribui para a economicidade do êxito comercial de um sistema ferroviário, e, não, o tamanho da bitola, propriamente dita (CURY, 2011). A questão da unificação da malha brasileira para um único tipo de bitola é motivo de muita discussão. Pellegrin (2014) afirma que apesar dos últimos projetos terem adotado a bitola larga é inviável a padronização para este tipo de bitola atualmente, uma vez que a malha em bitola métrica é muito representativa e a interdição desses trechos para a alteração de bitola provocaria perdas econômicas e transtorno no sistema ferroviário. Para Lacerda (2009) a alteração da bitola métrica para a larga provocaria mudanças e readequações nas obras de arte de toda a malha como: pontes, viadutos e túneis, além do lastro, dormentes, cortes e aterros, o que resultaria em um custo elevado para fazer essas correções. O caminho inverso (bitola larga para a estreita) é mais fácil visto que o número de reparações é menor. Outro custo a ser considerado em uma mudança de bitola da via é o de mudar a distância das rodas das locomotivas e dos vagões. Nesse momento, a melhor solução é preparar a infraestrutura para portar uma via mista com a inserção de um terceiro trilho nos trechos de bitola larga, sem grandes obras, tornando o processo menos oneroso. Brina (1988) aponta que outra solução para o problema apresentado seria, ao invés de transformar a via, duplicar o trecho iniciando outro ramal paralelo ao antigo com a nova bitola desejada, quando a faixa de domínio permitir, visto que o custo para as duas intervenções é semelhante, porém em regiões montanhosas como a Serra do Mar isso se torna inviável. Pellegrin (2014) ainda complementa que como a realidade de diferentes tipos de bitolas na malha brasileira persistirá por mais algumas décadas, alternativas às obras de adaptação de bitola mista precisam ser desenvolvidas.



Ferrovias	Bitola			
	Larga	Métrica	Mista	Total
	(1,6 m)	(1,0 m)		
América Latina Logística Malha Oeste S.A. - ALLMO <sup>®</sup>	-	1.945	-	1.945
Ferrovia Centro-Atlântica S.A. - FCA	-	7.910	156	8.066
MRS Logística S.A. - MRS	1.632	-	42	1.674
Ferrovia Tereza Cristina S.A. - FTC	-	164	-	164
América Latina Logística Malha Sul S.A. - ALLMS	-	7.254	11	7.265
Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. - FERROESTE	-	248	-	248
Estrada de Ferro Vitória a Minas - EFVM	-	905	-	905
Estrada de Ferro Carajás - EFC	892	-	-	892
Transnordestina Logística S.A. - TLSA	-	4.189	18	4.207
América Latina Logística Malha Paulista S.A. - ALLMP	1.463	243	283	1.989
América Latina Logística Malha Norte S.A. - ALLMN	617	-	-	617
Ferrovia Norte-Sul - FNS - VALEC/Subconcessão:	720	-	-	720
<b>SubTotal</b>	<b>5.324</b>	<b>22.858</b>	<b>510</b>	<b>28.692</b>

Figura 10 - Extensões da Malha Ferroviária Brasileira de Cargas e suas Respectivas Bitolas

Fonte: Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro, CNT, 2013

A Figura 10 do estudo da CNT (2013) mostra que apesar da predominância da bitola métrica no Brasil, reflexo do processo histórico da construção das ferrovias no país, a malha em bitola larga e mista vem crescendo com a implantação de novos projetos. A variedade de bitolas impõe um custo adicional para o sistema ferroviário, dificultando a conexão entre as malhas e gerando gastos de transbordo. Segundo Cury (2011), no âmbito mundial a bitola padrão é a mais comum sendo encontrada em 60% das ferrovias de todo o mundo, seguida das bitolas largas, com medidas superiores à da padrão, por 23%, e por fim, as bitolas estreitas, por 17%,

Lacerda (2009) menciona o fato de que a construção de ferrovias com diferentes bitolas não foi um problema somente no Brasil. Os Estados Unidos e a Europa Ocidental tiveram êxito em homogeneizar suas redes. De acordo com Puffert (apud TAMAGUSKO, 2013), nos Estados Unidos em 1861 existiam mais de vinte bitolas diferentes, sendo a padrão de 1,435 m apenas 54% de sua malha. Já em 1886, 96% da rede americana estava padronizada, esta homogeneização ocorreu pelo fato do crescimento pela demanda de transporte inter-regional e o aumento da cooperação entre ferrovias. Hoje em dia o país é ligado da costa leste à oeste pela bitola padrão. Entretanto, alguns países ainda sofrem com as consequências de vários tipos de bitola em seu território. Cury (2011) relata que na Austrália, antes de sua independência cada estado era responsável pela sua rede de ferrovias, o que resultou em três tipos diferentes de bitola. Essa falha das relações entre os governos dos estados e o nacional, há mais de cem anos, ainda traz resultados negativos para o país.

Já a malha das ferrovias da Espanha e de Portugal contam com o predomínio da bitola de 1,668 m, conhecida também como bitola Ibérica. A explicação para este tipo diferente de bitola está na proteção da fronteira da Península Ibérica com a França, visto que por motivos militares ela foi adotada para conter o avanço das tropas francesas na região, na primeira metade do século XX. Outras bitolas que valem ser mencionadas são a de 1,520 m adotada por países da antiga União Soviética, tendo destaque a Rússia; a de 1,600 m na Irlanda e Irlanda do Norte e a de 1,067 m no Japão. Nestes dois últimos por serem ilhas, não há a necessidade de seguir o padrão de outros países.

De acordo com Lacerda (2009), o panorama logístico atual da América do Sul não é nada animador, visto que as distâncias marítimas são enormes pela inevitabilidade de seguir até o sul; cruzando o Estreito de Magalhães ou até o norte; pelo canal do Panamá. As distâncias terrestres, por sua vez, além de serem consideráveis esbarram nas barreiras geográficas impostas pela Cordilheira dos Andes a oeste. As ferrovias, então, seriam a melhor opção para o transporte de mercadorias pelo continente. Porém estas foram construídas com o propósito apenas de escoar os produtos primários aos portos, tais como: o café no Brasil, o cobre no Chile e os grãos na Argentina. A falta de visão dos governos para integrar estas rotas fez com que chegássemos ao cenário atual. Muitos países não têm conexões ferroviárias entre eles. Já as fronteiras do Brasil com a Argentina, Uruguai e Paraguai não são integradas devido à mudança de bitola, impedindo que os trens possam circular entre os países sem uma troca de material rodante. Este fato remete à época da Guerra do Paraguai e da Guerra da Cisplatina no século XIX, na qual devido aos conflitos da região a diferença de bitola impedia que os exércitos invadissem territórios através dos trilhos. Em relação à distribuição de bitolas diferentes pelo continente, esta, acompanha o relevo das regiões. Enquanto nos países andinos a bitola métrica é a mais utilizada, nos pampas argentinos, onde as inclinações são mínimas, adotou-se a bitola larga.

Lacerda (2009) ainda aponta para o fato de a maior rede interconectada do continente ser a métrica, ligando Argentina, Chile, Brasil e Bolívia com pouco mais de 41.000 km, sendo assim esta bitola é a única possivelmente viável para uma integração ferroviária do Cone Sul em um mesmo tipo de bitola com a mudança da bitola padrão para a métrica em algumas rotas, conectando o transporte e o comércio regional entre esses países. Lacerda destaca que os 34.000 km da malha em bitola métrica na Argentina e no Brasil, são separados por apenas 754 km em bitola-padrão, ou seja, uma readequação deste trecho resultaria em ganhos muito positivos para as relações dos dois países, uma vez que a malha conectada entre os dois, atualmente, passa por um longo trajeto via Bolívia em más

condições. Esta integração ferroviária do Cone Sul também ajudaria na criação do tão esperado Corredor Bioceânico Ferroviário (2010), que ligaria portos do Brasil e do Chile, sendo a forma mais rápida de transporte do Oceano Atlântico para o Pacífico, aprimorando a logística comercial do continente. Vale destacar na Figura 11 que o projeto da Nova Ferroeste, trecho entre Maracaju e o Porto de Paranaguá, estaria inserido na concepção do corredor sul-americano.



Figura 11- Corredor Bioceânico Ferroviário

Fonte: Corredor Bioceânico Ferroviário: estudos técnicos referentes ao eixo de capricórnio, 2010

#### 2.4.2. Regulação do Modal Ferroviário: Direito de Passagem, Tráfego Mútuo e Concessões

O IPEA (2010) relata que o atual marco regulatório do setor ferroviário brasileiro nasceu com a extinção da RFFSA e consolidou-se com a concessão das ferrovias à iniciativa privada. Se antes o Ministério dos Transportes contava com todas as atribuições do setor e a operação encontrava-se na mão de poucas empresas, hoje o contexto ficou mais complexo. O Ministério continua a formular estratégias a longo prazo, porém a operação está em sua maioria nas mãos de empresas privadas. Já a fiscalização e as regras de operação e concessão tornaram-se atribuições da Agência Nacional de Transportes Terrestres.

Segundo o estudo da CNT (2013), até a década de 1980, o setor ferroviário da maioria dos países estavam centralizados em empresas públicas, garantindo assim lucros do governo

com os ganhos de escala e que não houvesse possíveis abusos de um monopolista privado. Entretanto, os prejuízos resultantes no setor e a sua ineficiência em alguns casos resultou em reformas no arranjo regulatório. Nos Estados Unidos, o Ato de Ferrovias de Staggers concedeu liberdade para fixação de tarifas de frete, facilitou o ingresso de novos operadores do setor e incentivou a separação dos serviços operacionais e de construção, possibilitando melhores condições financeiras para as ferrovias americanas. Santos (2005) aponta para o fato que a desregulamentação realizada com Staggers permitiu a fusão de empresas, bem como reduziu as tarifas de linhas pequenas (*short lines*). Com isso, à medida que surgiam grandes transportadores, também ocorreu a criação de pequenas ferrovias que não existiriam sem as novas facilidades concebidas pelo ato.

Santos (2005) ainda relata que a Europa, principalmente a Ocidental, também sofreu com a ineficácia e custos do seu setor ferroviário principalmente devido à crise do petróleo, na qual favoreceu outros modais de transportes. A Europa Oriental por sua vez, devido à política centralizada dos governos comunistas, protegeu suas ferrovias. Apesar da preferência pelo transporte de passageiros, nos últimos anos o transporte de cargas também evoluiu e tornou-se mais ágil, muito pelo fato do repasse do serviço de cargas para a iniciativa privada, ficando para as empresas estatais somente a tração dos trens.

Os termos *tráfego mútuo* e *direito de passagem* embora possam causar algum tipo de dúvida, não são sinônimos. Para a ANTT (2016), *tráfego mútuo* é a operação em que uma concessionária precisando ultrapassar os limites de sua malha para completar um trajeto, compartilha recursos operacionais, tais como: material rodante, via permanente, pessoal, serviços e equipamentos com a concessionária que fará o prosseguimento da prestação do serviço, mediante o pagamento de valor determinado. Já *direito de passagem* configura-se como a operação em que uma concessionária, mediante o pagamento de valor determinado, permite outra a trafegar em sua malha utilizando a sua via permanente para que esta possa completar a prestação de serviço. Rosa (2016) ajuda a compreensão da diferença entre as duas descrevendo que *tráfego mútuo* é quando a ferrovia 1 entrega os seus vagões sem tração para a ferrovia 2, e esta coloca a tração com maquinista para circular o trem. O *direito de passagem* ocorre quando a ferrovia 1 entra com seus vagões, sua tração e seu maquinista na via permanente da ferrovia 2.

A CNT (2013) revela que os critérios para *tráfego mútuo* e *direito de passagem* são pautados na capacidade ociosa da via e nas metas de produção por trecho acertadas entre a concessionária e a ANTT, no qual ocorrerá pagamento da requerente para a cedente. As

administrações ferroviárias são obrigadas a operar em *tráfego mútuo* ou, no caso de sua impossibilidade, permitir o *direito de passagem* a outros operadores (IPEA, 2012). O principal debate em torno das regras de interconexão, segundo o IPEA (2012), está voltado para o fato de só se permitir o *direito de passagem* quando houver capacidade ociosa da via, visto que nos principais trajetos como as vias que acessam aos portos, a capacidade máxima já foi atingida, impedindo que outras concessionárias ingressem nesses trechos, e ainda há a indefinição sobre qual concessionária, a visitada ou a visitante, deve realizar investimentos para o aumento dessa capacidade. Outro problema questionado é a inexatidão quanto a verdadeira capacidade das vias, uma vez que este parâmetro é definido pela própria ferrovia a ser visitada, podendo esta, impor restrições técnicas e de segurança.

Entre os modelos de operação ferroviária atuantes pelo mundo, destacam-se três: o modelo vertical, o modelo horizontal (open access) e o modelo misto (compartilhado). Mohr (2017) aprofunda cada um deles:

#### Modelo Vertical:

No sistema vertical uma única empresa, seja pública ou privada, é responsável pela operação do serviço de transporte e realização de investimentos em melhorias e manutenção da infraestrutura. Este modelo pode acarretar um monopólio natural em função do poder dominante da empresa ao aplicar tarifas com preços convenientes a ela. Dentro desse sistema estão também as malhas particulares, nas quais as empresas, como no caso da indústria do minério de ferro, operam o transporte, são responsáveis pela via e ainda são detentoras da carga transportada.

#### Modelo Horizontal (Open Access):

Este modelo é muito comum nos países europeus, principalmente no transporte de passageiros. Semelhante ao que ocorre em aeroportos e nos sistemas de telecomunicações, neste sistema temos uma concessionária, na maioria das vezes pública, a qual não oferece nenhuma prestação de serviço de transporte, sua atribuição consiste apenas na ampliação e melhoria da infraestrutura da via férrea e na operação do Centro de Controle Operacional (CCO). O transporte de cargas e passageiros é executado por diversos Operadores Ferroviários Independentes (OFIs) que pagam uma tarifa pelo direito de passagem nos trilhos, sendo esta proporcional ao número de vagões, toneladas transportadas e o tipo de carga. Neste sistema é criado uma vasta concorrência sobre os trilhos, porém necessita de relações muito bem definidas entre o gestor da malha e os OFIs.

### Modelo Misto (Compartilhado):

Este modelo caracteriza-se por haver uma empresa dominante, pública ou privada, responsável pela gestão da infraestrutura e manutenção, do controle do CCO e de grande parte da operação do transporte de cargas. No entanto, diferentemente do que ocorre com o modelo vertical, na malha compartilhada também circulam trens de OFIs, nos quais através do devido exercício do direito de passagem ou tráfego mútuo conseguem acessar os pontos finais de destino das suas cargas, mediante pagamento de tarifas. Há também neste modelo as chamadas *short lines* que são ramificações pequenas do tronco ferroviário principal, operados por pequenas empresas de baixo custo, que levam para a empresa dominante as cargas dessas regiões. Apesar de ainda pequena, este sistema cria uma concorrência no modal ferroviário.

A Figura 12 resume os três tipos de modelos citados:

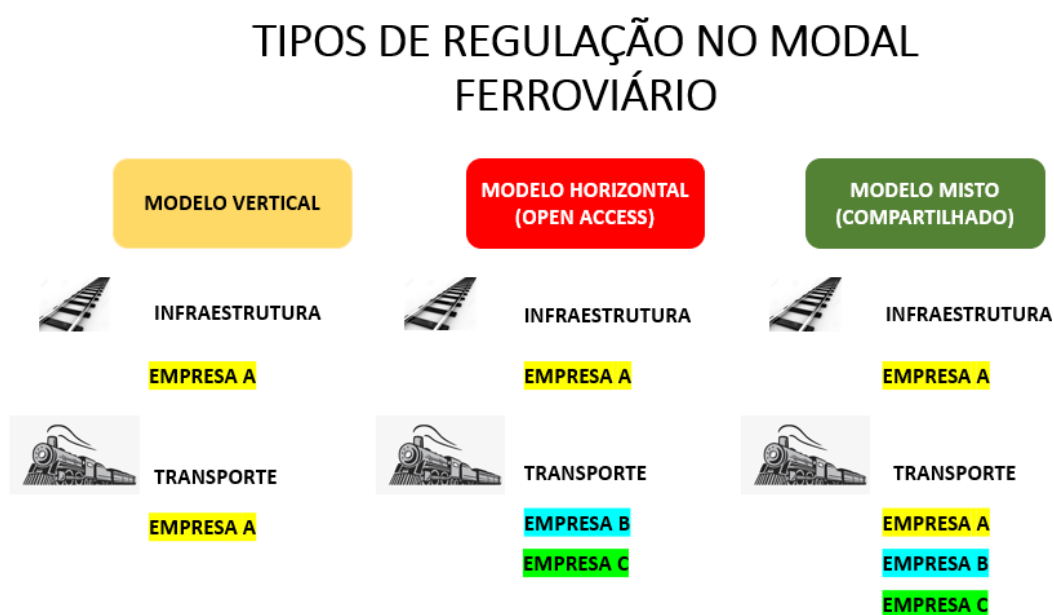


Figura 12 - Tipos de Regulação no Modal Ferroviário

Fonte: Autor

Segundo o Estudo do Corredor Oeste, Paraná (2017), no Brasil atualmente o modelo praticado é o vertical, ou seja, a concessionária detém a operação de transporte na via e é responsável pela infraestrutura. Na teoria, existe na regulação atual o benefício do *direito de passagem*, porém como visto anteriormente, na prática, ele é raramente exercido. No Estado do Paraná, como já foi abordado, temos a dependência operacional imposta pela Rumo pois ela é a detentora do único acesso ferroviário ao Porto de Paranaguá, cuja capacidade máxima

já foi atingida, fazendo com que a Ferroeste não tenha o máximo do seu potencial no transporte de cargas para a exportação aproveitado. Segundo dados da ANTT (2018) a produção em *tráfego mútuo e direito de passagem* entre as duas ferrovias foi de 89.324 milhares de TKU.

Em 2012, o Governo Federal anunciou o Programa de Investimentos em Logística (PIL), a CNT (2015) aponta que uma das ações previstas foi um novo modelo de concessão, na qual ocorreria a divisão entre a concessionária que forneceria a infraestrutura ferroviária e a que forneceria o serviço de operação, sendo uma espécie de modelo open access. Porém este tipo de modelo necessitaria de um marco regulatório muito consistente para lidar com a quantidade de partes envolvidas, e em 2016 foi descartado pelo governo que agora propõe um modelo misto.

Mohr (2017) aponta que a separação vertical do setor foi o primeiro passo a ser escolhido pelos países no processo de reestruturação de seus modais ferroviários. Como exemplo temos a Austrália que nos anos 1990 havia uma rede desconectada em um sistema fechado. O governo então obrigou as concessionárias a permitir a entrada de outros operadores em suas vias e criou novas ferrovias de forma a integrar assim o sistema, gerando resultados positivos. Hoje a Austrália possui os três modelos ao longo da sua malha ferroviária nas diferentes províncias. Já nos Estados Unidos e Canadá, seis grandes companhias operam os troncos principais auxiliadas por inúmeras *short lines* que alimentam as ramificações destes, trata-se então de um modelo misto, apesar de que nos Estados Unidos diferentemente do Canadá, o *direito de passagem* não é obrigatório a menos que sejam demonstradas atitudes anticompetitivas do operador. Na China o modelo é o vertical controlado pelo governo que realiza grandes investimentos para a rápida ampliação da sua malha, ao mesmo tempo, busca parceria com empresas investidoras para concretizar tal desafio. Na Rússia o modelo que era vertical controlado pelo governo já dá lugar a um modelo misto, porém apenas a estatal responsável pela operação pode tracionar os vagões. Para Mohr, uma vez que o modelo horizontal seria inviável a curto prazo pela sua complexidade, o modelo a ser implantado no Brasil, neste momento, deve ser o misto, garantindo deste modo o exercício do direito de passagem aos OFIs. Independente do modelo escolhido será necessário então uma objetiva e clara definição de como os dois marcos regulatórios do setor ferroviário (as concessões que ocorreram após a extinção da malha da RFFSA e as concessões do novo modelo escolhido) vão se relacionar enquanto ambos estiverem em vigor.

### **2.4.3. Passagens em Nível e Invasões de Faixas de Domínio**

Faixa de domínio é a faixa de terreno em que se localizam as vias férreas e demais instalações da ferrovia, inclusive os acréscimos necessários à sua expansão (ANTT, 2016). O estudo da CNT (2013) apontou a presença de mais de 355 invasões nas faixas de domínio. A existência de construções irregulares às margens das ferrovias acarreta a redução das velocidades das composições reduzindo a eficácia do transporte ferroviário.

Outro problema que tem comprometido a competitividade deste modal é o fato de as vias férreas passarem excessivamente por dentro das cidades resultando nas passagens em nível, o que aumenta o risco de acidentes e restringe a eficiência dos trens. Segundo dados do boletim estatístico da CNT (2019) existem atualmente 12.289 passagens em nível no país, sendo destas 2.659 críticas, conferindo uma velocidade média operacional dos trens de 22 km/h. O IPEA (2010) relata que em condições adequadas, na qual fossem eliminados os problemas de invasões de faixas de domínio e passagens em nível, os trens que viajam a 22 km/h atualmente poderiam alcançar 80 km/h, mesma velocidade de operação dos Estados Unidos. As soluções apontadas pela CNT (2015) para estes problemas contemplariam: a remoção das invasões com realocação das famílias; implantação e melhorias nos dispositivos de sinalização; a construção de passagens em desnível como viadutos e pontes; e a criação de contornos ferroviários para impedir que as ferrovias adentrem aos centros das cidades.

### **2.4.4. Falta de Conexão entre as Ferrovias e Ausência da Intermodalidade**

As ferrovias brasileiras foram construídas até meados do século XX com seu traçado orientado perpendicular ao litoral, devido aos interesses econômicos de exportar a matéria-prima aos portos. Márcio SILVEIRA (2007) ressalva o fato que as primeiras ferrovias eram de posse do capital estrangeiro, cujo interesse estava apenas na lucratividade do empreendimento, ou seja, não se teve uma preocupação com a constituição de uma rede integrada de transportes. A construção de uma malha interligada esbarrou também na ocupação dispersa do território brasileiro e a distância entre as regiões produtoras e os portos, logo seria inviável uma rede integrada naquele momento. O cenário atual ainda revela a ausência da intermodalidade, causando prejuízos econômicos para o desenvolvimento do país devido aos custos logísticos.

Resende et al. (2009) afirmam que o sucesso do modal ferroviário brasileiro estará no crescimento da malha ferroviária do país através de projetos de novas ferrovias, integrando-as às já existentes e com os outros modais. Ainda faltam muitos investimento em



terminais intermodais para que o embarcador considere a integração de modalidades uma situação vantajosa, com eficiência e confiabilidade. Coeli (2004) complementa que na maioria dos casos o transporte ferroviário precisa ser complementado pelo rodoviário, no qual através do transporte porta-a-porta consegue levar a carga até qualquer destino final. As ferrovias brasileiras competem entre si em pouquíssimas rotas, seus principais concorrentes são o modal rodoviário e em algumas regiões o hidroviário e a cabotagem. Uma integração entre as ferrovias as tornaria mais competitivas frente aos demais modos de transporte (COELI, 2004).

Segundo o estudo da CNT (2015), o escoamento da produção de grãos no país ocorre em duas etapas. A primeira parte inclui o transporte dos produtos da lavoura até os armazéns via modal rodoviário, transporte este geralmente caro devido a maioria das estradas rurais não serem pavimentadas. A segunda parte refere-se ao transporte dos armazéns até as indústrias que destinarão o produto ao mercado interno, geralmente curtas distâncias realizadas por rodovia, ou até os portos, longas distâncias a fim de escoar a produção do Centro-Oeste aos terminais do Sul e Sudeste para o mercado externo sendo transportadas por rodovias, ferrovias, hidrovias ou combinações desses modais. A integração do sistema de transporte brasileiro propiciaria maior eficiência aos deslocamentos das mercadorias pelo território nacional, uma vez que a utilização de mais de um modal na movimentação de cargas permitiria a redução dos custos e do tempo (CNT, 2015).

Lambert et al. (1998) ressalta que as ferrovias estão limitadas aos trilhos, e assim como o modal aquaviário e dutoviário, oferecem um transporte terminal-a-terminal ao invés do porta-a-porta rodoviário, a não ser que os embarcadores tenham ramal até suas instalações. Um exemplo proveitoso de intermodalidade é a parceria entre a Santa Fé Railway com uma grande companhia rodoviária americana nos anos 1990 que proporcionou aos embarcadores o serviço porta-a-porta entre a Califórnia e o Meio-Oeste Americano com um sistema unificado de comunicação e faturamento. Santos (2005) ainda aponta para o fato da falta de concorrência, que a divisão em malhas regionais das concessões origina. O modelo americano apesar de regionalizado permitiu a construção de ferrovias paralelas disputando o mercado entre si, de forma a impedir a formação de monopólio natural e estimular as concessionárias a irem em busca de novas tecnologias e melhorias em suas vias.

### **3. ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo serão mencionados os aspectos e características que levam o projeto da Nova Ferroeste, ferrovia de estudo deste presente trabalho, uma obra que será prioritária para o desenvolvimento do modal ferroviário no país e contribuir para o avanço da economia dos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. Após a apresentação do novo projeto será abordado com ênfase o trecho entre Curitiba e Paranaguá, no qual seu traçado será objeto de estudo, sendo analisado mais profundamente no capítulo seguinte.

#### **3.1. O Projeto da Nova Ferroeste**

O estado do Paraná, como descreve o estudo do Corredor Oeste (2017), tem forte participação no setor do agronegócio devido à fertilidade de seu solo e o clima ameno. Alternando entre a quarta e quinta maior economia do país em relação ao PIB, a agricultura paranaense é responsável por aproximadamente 20% da produção nacional de grãos, perdendo apenas para o estado do Mato Grosso. Estes produtos são em sua maioria escoados pelos portos para exportação, com destaque o Porto de Paranaguá que é responsável por 75% da produção agrícola do estado. No sentido de importação abastecendo o campo, o porto também apresenta papel fundamental com 9,5 milhões de toneladas de fertilizantes desembarcadas por ano, o que corresponde a 35% de todo o fertilizante importado pelo Brasil. Apesar da vocação para o transporte de granéis, ultimamente vem aumentando o transporte de cargas de alto valor agregado em contêineres no porto.

Embora nos últimos anos tenha-se presenciado uma modernização na produção agrícola do Paraná e do Porto de Paranaguá, a ligação entre os dois continua com a mesma infraestrutura ferroviária obsoleta. Segundo o resumo do projeto da Nova Ferroeste (2017), o Paraná detém 33% da produção brasileira de soja e milho, porém o escoamento destes produtos é comprometido por dois gargalos físicos que estão localizados fora da malha de atuação da atual Ferroeste: a Serra da Esperança (entre Guarapuava e Ponta Grossa) e a Serra do Mar (entre Curitiba e Paranaguá). Cabe ressaltar que o trecho da Serra da Esperança é utilizado pela Rumo para buscar as composições oriundas da Ferroeste em Guarapuava, uma vez que as locomotivas da Ferroeste não têm as especificações necessárias para chegar até o litoral. Porém devido às péssimas condições deste trecho há uma baixa interoperabilidade entre as concessionárias, inibindo a competitividade e a redução no valor do frete que é mais caro do que o cobrado na malha norte do estado. O estado do Mato Grosso do Sul e o Paraguai também são afetados pela ineficiência do transporte Oeste-Leste via modal ferroviário.

O Porto de Paranaguá, de acordo com Paraná (2017), é o segundo maior em movimentação de cargas no Brasil, com 50 milhões de toneladas anuais, sendo que destas 80% são transportadas pelo modal rodoviário no sentido exportação e importação, cabendo às ferrovias o transporte dos outros 20%, algo em torno de 10 milhões de toneladas. Entretanto, devido aos problemas operacionais já citados, o Oeste do Estado apesar de contribuir com grande parte da produção de soja e milho, transporta apenas 1 milhão de toneladas por ferrovias. Para o ano de 2030, o Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do terminal de Paranaguá aponta para um crescimento no volume de cargas transportadas podendo chegar a 70 milhões de toneladas, sendo que com melhorias na malha existente da Rumo e com a construção da Nova Ferroeste, pode-se aumentar a participação do modal ferroviário no transporte até o porto atingindo 60% das cargas movimentadas, ou seja, 40 milhões de toneladas anuais divididas equitativamente entre os corredores norte e oeste. A região do corredor oeste que atualmente produz 14 milhões de toneladas de grãos tem potencial para expandir essa produção até 20 milhões.

Paraná (2017) relata também que os gargalos físicos e operacionais existentes contribuem para uma sobrecarga de caminhões na rodovia BR-277, causando transtornos e congestionamentos aos usuários. Esta rodovia federal já é duplicada e a introdução de uma terceira faixa na Serra do Mar é uma tarefa complicada, o que dificulta seu aumento de capacidade. Diante das circunstâncias apresentadas, o sistema que oferece melhores condições para suprir a demanda do transporte de cargas é o ferroviário, com a construção de uma nova e moderna ferrovia. A estrada de ferro existente na região operada pela Rumo, além de ser centenária e tombada, ainda há um interesse cultural e turístico pelo trecho no qual trens de passageiros oferecem passeios para os turistas conhecerem a Serra do Mar. O traçado atual apresenta muitas restrições operacionais com rampas de até 3,5% de inclinação e raios de curva muito pequenos, isto confere aos trens velocidades muito baixas, tanto para vencer a inclinação no sentido importação, quanto no uso excessivo dos freios para evitar o descarrilamento no sentido exportação, logo essas condições inviabilizam a duplicação da ferrovia. A Rumo também necessita formar composições com locomotivas específicas e número limitado de vagões no Pátio Iguaçu em Curitiba para percorrer o trajeto da Serra do Mar, provocando custos adicionais e perdas de desempenho. Por ser a única ferrovia que chega ao porto de Paranaguá em via singela, causa muitos problemas operacionais. O trajeto está sujeito a bloqueios e interrupções no caso de acidentes ou desmoronamentos, além do tempo perdido pelos trens aguardando o momento de passagem por causa da ausência de pátios de cruzamento. Outro ponto a ser discutido é que o trecho atual passa dentro da Região

Metropolitana de Curitiba e o crescimento urbano, em concomitância com o aumento do transporte de cargas, poderá causar conflitos no futuro.

Ainda segundo Paraná (2017), a região do corredor oeste do estado compreende uma área de abrangência de 94 municípios, com destaque para as cidades de Cascavel e Guarapuava que abrigam grandes cooperativas, e foi responsável em 2014 pelo volume total no sentido exportação de 9.364.255 milhões de toneladas de cargas. A soja e o milho são os principais produtos transportados até os portos devido à força do agronegócio na região. Além disso, cargas de origem animal como frango e suíno também são relevantes no corredor. Já no caminho inverso destaca-se o transporte de combustíveis, fertilizantes e cimento, totalizando um total de 2.079.783 milhões de toneladas e 2.579.730 m<sup>3</sup> de cargas naquele ano no sentido importação. Tendo em conta a movimentação de mais de 11 milhões de toneladas em ambos os sentidos e a movimentação da Ferroeste que é de apenas 850.000 toneladas anuais, nota-se que a participação do modal ferroviário neste trajeto é de somente 6% no total. O estudo também faz uma projeção para o ano de 2035 em um cenário conservador na qual a movimentação no corredor ultrapassaria os 17 milhões de toneladas e os 3 milhões de metros cúbicos, revelando o potencial da região para viabilizar um novo empreendimento ferroviário de grande porte. Os números mostram que se nenhum investimento for feito tanto nas vias férreas existentes como em novos projetos de ferrovias, a movimentação de cargas previstas sobrecarregará a já saturada BR-277 que é o principal meio de transportes destas atualmente.

Paraná (2017) ressalta no estudo do Corredor Oeste as intervenções físicas necessárias para a infraestrutura paranaense atender às demandas do transporte de cargas no futuro. A curto prazo é interessante destacar a adequação e retificação da infraestrutura existente operada pela Rumo. A concessionária propõe para o trecho entre Curitiba e Paranaguá melhorias pontuais na via permanente e em pátios fora da área crítica, além da criação de um novo pátio de cruzamento e a adequação da curva São João com o aumento do raio e alargamento de corte. O intuito dessas melhorias é aumentar a capacidade da via e permitir a inserção de novas locomotivas mais potentes no trecho já adquiridas pela Rumo. Reformas no acesso ao porto de Paranaguá e em sua pera também são citadas. A médio prazo é mencionado o novo trecho ferroviário entre Guarapuava e Engenheiro Bley nas proximidades de Curitiba, uma vez que a rota entre Guarapuava e Ponta Grossa é atualmente um dos maiores gargalos operacionais para o Corredor Oeste, operando menos de cinco trens por dia em sua capacidade máxima. Por fim, a longo prazo, destaca-se a nova descida da Serra do Mar, sendo o único acesso ao porto de Paranaguá via modal ferroviário com o

agravante de o trecho possuir o entroncamento dos Corredores Oeste e Norte do estado e operar no limite de sua capacidade.

O Plano Estadual de Logística em Transporte do Paraná 2035 (PELT 2035) relata que a Nova Ferroeste é uma obra prioritária e ainda aponta outras ações para o desenvolvimento do modal ferroviário no estado. Dentre os projetos do PELT 2035 destacam-se: a implantação da Ferrovia Norte-Sul no Paraná ligando os polos produtores e consumidores das regiões Centro-Oeste e Sudeste com a região Sul; o contorno ferroviário de Curitiba com o remanejamento do Pátio Iguazu para fora da cidade; o melhor aproveitamento do trecho entre Jacarezinho e Rio Negro; a Ferrovia Litorânea promovendo a ligação dos portos paranaenses com os portos do norte catarinense; novas ligações ferroviárias como o trecho entre Cascavel e Foz do Iguazu; e a implantação de bitola mista nos principais trechos da malha paranaense de forma a permitir a integração com a bitola larga da malha nacional.

O estudo *Paraná Multimodal Project* (2006) realizado pela *CSCP Transcom* do Canadá já apontava para os gargalos físicos da Serra da Esperança e da Serra do Mar. O gráfico da Figura 13 apresenta o perfil das ferrovias paranaenses comparando as elevações do trajeto com suas distâncias até o litoral, onde a linha rosa refere-se à Malha Norte da Rumo com origem em Maringá e a linha azul o trecho compreendido pela Ferroeste de Cascavel a Guarapuava e sua continuação, operada pela Rumo até o pátio de Desvio Ribas em Ponta Grossa onde há a junção dos dois troncos ferroviários que continua em via singela até o porto de Paranaguá, representado pela cor roxa. A parte mais crítica da malha compreende a linha azul entre Guarapuava e Desvio Ribas que possui uma extensão de quase 300 km em um traçado sinuoso com variações de elevações na casa dos 400 metros de altitude. O segundo gargalo é facilmente percebido pela brusca variação de altitude de quase 1000 metros em uma distância pequena de aproximadamente 30 km na descida da Serra do Mar. Isto só é possível devido a rampas máximas de até 3,5 % no sentido importação e raios de curva mínimos de 66 metros, o que confere ao trecho limitações operacionais como perda de velocidade e impossibilidade de locomotivas mais modernas trafegarem no seu trajeto. Os raios de curva mínimos e rampas máximas da malha ferroviária do estado são apresentados na Tabela 3 - Características do Traçado da Malha Ferroviária Paranaense, na qual se evidencia a complexidade técnica do trecho entre Guarapuava e Desvio Ribas que apresenta rampas máximas com mais de 2% em ambos os sentidos, fato que confere a este o maior custo operacional tonelada/km em reais da malha de acordo com o gráfico da Figura 14. Apesar da descida da Serra do Mar apresentar inclinações maiores e raios de curva

menores que o trecho da Serra da Esperança, o trajeto entre Guarapuava e Desvio Ribas possui o dobro do custo de operação, em virtude de sua extensão em condições técnicas críticas ser bem maior.

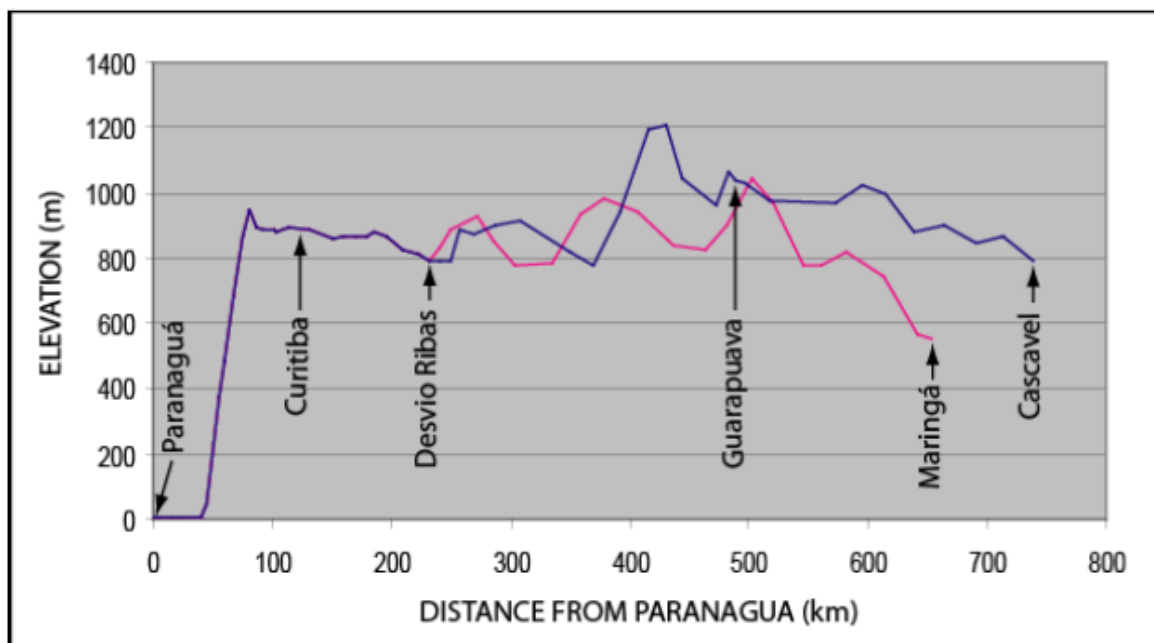


Figura 13 - Perfil da Malha Ferroviária Paranaense

Fonte: Paraná Multimodal Project (2006)

Tabela 3 - Características do Traçado da Malha Ferroviária Paranaense

TRECHO	EXTENSÃO (km)	RAMPA MÁXIMA IMPORTAÇÃO (%)	RAMPA MÁXIMA EXPORTAÇÃO (%)	RAIO DE CURVA MÍNIMO (m)
Km 5 (Paranaguá) - Iguaçu	114	3,5	1,7	66
Iguaçu - Desvio Ribas	118,4	1,6	1,4	287
Desvio Ribas - Ipiranga	84,4	1,5	1,4	278
Ipiranga - Apucarana	241,4	1,38	1,52	294
Apucarana - Maringá	72,3	1,53	1,96	255
Desvio Ribas - Eng. Gutierrez	108,1	1,8	2,2	86
Eng. Gutierrez - Guarapuava	138,9	2,7	1,8	104
Guarapuava - Cascavel	248,5	1,8	1,5	250

Fonte: Elaborada pelo Autor com base nos dados do Paraná Multimodal Project (2006)

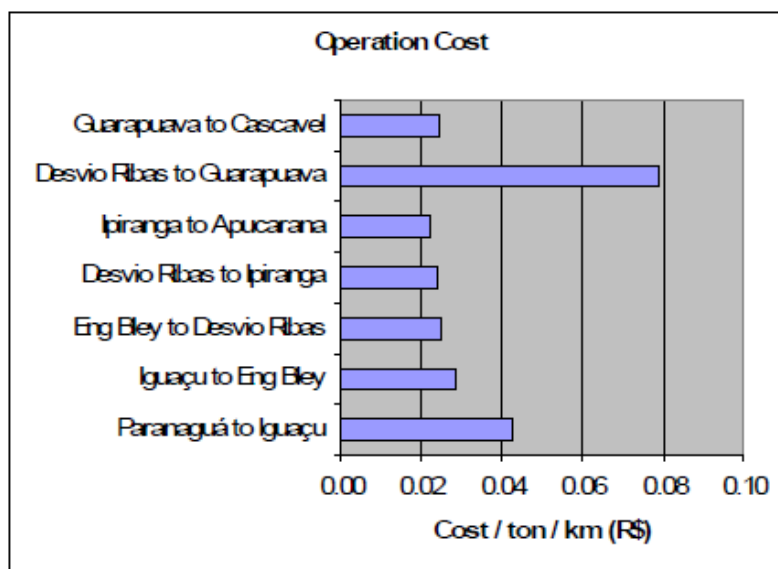


Figura 14 - Custo Operacional da Malha Ferroviária Paranaense

Fonte: Paraná Multimodal Project (2006)

De acordo com o resumo do projeto da Nova Ferroeste (2017), a nova ferrovia será composta por dois trechos ferroviários. O primeiro trecho compreende ao trajeto de Guarapuava ao Porto de Paranaguá, com um novo desenho suavizando as descidas da Serra da Esperança e Serra do Mar e terá extensão de 400 km. Sua concessão será estadual, pois o artigo 21 da Constituição Federal cita que só são concessões federais serviços que ultrapassem limites estaduais ou liguem portos às fronteiras. O segundo trecho abrange o caminho de Guarapuava até Maracaju, no Mato Grosso do Sul, com 600 km de extensão. Cabe ressaltar que destes; 250 km já existem e são operados pela Ferroeste no trecho entre Guarapuava e Cascavel. O projeto prevê então uma revitalização do trajeto existente com a implantação da bitola mista, para integração da ferrovia com a Norte-Sul que passará pelo estado, uma vez que o trecho atualmente possui bitola métrica. A subconcessão federal de todo o trecho já é de posse da Ferroeste, embora não exista ainda o traçado entre Cascavel e Maracaju (MS). O projeto também vai oferecer reserva de capacidade operacional para OFIs e regras de interoperabilidade entre os dois novos trechos e a malha da Rumo.

A Figura 15 mostra o traçado da Nova Ferroeste, que compreenderá 1000 km de extensão. O *Capital Expenditure* (CAPEX) estimado na construção do novo empreendimento é de US\$ 3 bilhões. No final do ano de 2017, o governo do Paraná lançou um Procedimento de Manifestação de Interesse (PMI), no qual empresas privadas realizam estudos que, se aprovados, são utilizados pelo Estado para promover a licitação da concessão do projeto. Este modelo difere da Lei de Licitações que proíbe a participação do autor do

projeto na concorrência. O governo então não precisa arcar com os custos dos estudos de viabilidade do empreendimento, uma vez que a empresa vencedora da licitação terá que pagar estes a quem realizou as análises técnicas previamente. Caso a empresa que realizou os estudos ganhe a concorrência, os investimentos são recuperados na própria exploração do projeto. Porém, este sistema oferece muitos riscos a quem realiza os estudos, dado que se o Estado não levar para frente o projeto, o valor investido é perdido. Dentre os grupos que começaram os estudos de viabilidade da Nova Ferroeste, o grupo da empresa coreana *Pyunghwa Engineering* foi o que mais havia avançado até o momento do presente trabalho. Todavia, pelos riscos de o Estado não vir a realizar o empreendimento e o estudo de avaliação técnica, econômica e ambiental ser estimado em R\$ 25 milhões, a parte mais detalhada da análise ainda não havia começado.



Figura 15 - A Nova Ferroeste

Fonte: Resumo do Projeto da Nova Ferroeste (2017)

### 3.2. Trecho entre Curitiba e Paranaguá

O trecho do traçado a ser analisado como objeto de estudo no capítulo subsequente será abordado com maior ênfase nesta seção. O recorte refere-se à ligação ferroviária entre a Estação de Engenheiro Bley, em Lapa (PR), e Paranaguá, em um percurso de 150 km de extensão. Segundo o estudo de engenharia do PROFERR no trecho Lapa (PR) – Paranaguá (PR) elaborado pela ANTT (2013), o traçado prevê bitola larga (1,6 m) com raio mínimo de 350 m e velocidade máxima de projeto de 80 km/h, além de uma faixa de domínio de 20 m



para cada lado a partir do eixo da via. Foram analisadas, então, quatro alternativas de traçado (nas cores azul, amarela, vermelha e roxa) partindo de Engenheiro Bley até o porto de Paranaguá que são mostradas na Figura 16.

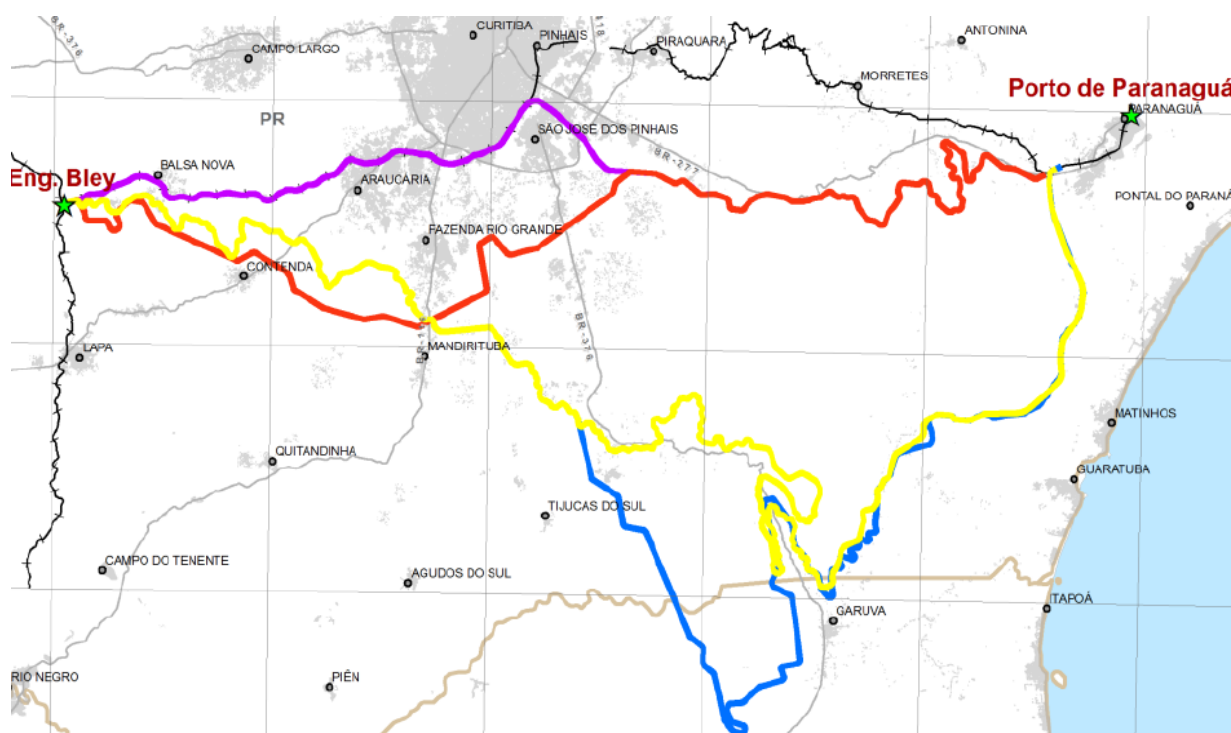


Figura 16 - Alternativas de Traçados Analisadas

Fonte: PROFERR Ferrovias: Trecho Lapa (PR) – Paranaguá (PR), ANTT (2013)

O método utilizado para comparação das alternativas foi o da matriz AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Este método é muito utilizado no processo de tomada de decisão em questões envolvendo múltiplos critérios e será utilizado no capítulo seguinte para comparar os traçados executados neste trabalho. Os critérios são divididos em pesos de acordo com a prioridade e importância na construção do empreendimento. Os fatores analisados foram: traçado, geometria e relevo para a implantação da via; restrições ambientais; custos e restrições operacionais; custos de implantação, manutenção e gestão; custos e benefícios sociais para a comunidade e captação de demanda. As restrições ambientais, a questão social e os custos de implantação obtiveram o maior peso. Os aspectos que foram levados em conta para a escolha da alternativa são apresentados a seguir:

### 3.2.1 Aspectos Técnicos, Operacionais e Geométricos

A alternativa escolhida foi a do traçado em cor roxa, uma vez que esta reaproveita o traçado já existente até chegar à Região Metropolitana de Curitiba e logo possui menores custos de implantação. Porém uma das medidas previstas no PELT 2035 e no estudo do

Corredor Oeste é o contorno ferroviário de Curitiba e a realocação do Pátio Iguazu, com o objetivo de remover as composições da área urbana, evitando assim risco de acidentes, invasões de faixas de domínio e redução da velocidade dos trens. Logo, a alternativa de traçado em cor vermelha que contempla este desvio e se une a alternativa roxa em São José dos Pinhais (PR) pode vir a ser a mais interessante para começar o estudo do traçado preliminar da ferrovia.

Neste trabalho é analisado o trecho que compreende a união das alternativas roxa e vermelha até a alça de ligação com a ferrovia existente, já nas proximidades do Complexo Portuário de Paranaguá. Após a junção das duas alternativas o caminho segue para o norte da Serra da Igreja, onde inicia a descida da Serra do Mar, acompanhando-a em encosta e desfrutando de divisores de água para chegar às proximidades da BR-277, atingindo a cota altimétrica de 20 m, a partir deste ponto, seguindo a rota da rodovia até o entroncamento com a PR-508 o trajeto encontra a ferrovia já existente. Nota-se que o caminho acompanha em paralelo ao longo de toda a sua extensão o trajeto da BR-277 no sentido do litoral e esta rodovia servirá de base para o posicionamento do traçado a ser realizado posteriormente. Este trecho de 150 km, segundo o estudo, possui cerca de 25% do seu traçado em curvas. Ao todo são 58 curvas, sendo que 50 delas com 500 m de raio; o raio mínimo adotado está presente em 6 delas. As rampas máximas são de 1,8% e 1% nos sentidos importação e exportação respectivamente, e o maior trecho com uma mesma rampa é de 7 km. Foram previstos 6 viadutos com extensão total de 3.960 m e 8 túneis totalizando 11.360 m; o mais extenso deles possui 4.200 m. O balanço de massa entre cortes e aterros ficou em 56% para aterro e 44% para corte. Foram consideradas as seguintes inclinações para os taludes: 1:1 no corte e 1:1,5 no aterro. O prazo de implementação deste trecho do projeto foi estimado em 24 meses. Todas essas características serão levadas em conta durante a realização do traçado no capítulo seguinte.

O traçado atual centenário operado pela Rumo localiza-se ao norte das alternativas e da BR-277, representado pela linha preta que passa pela cidade turística de Morretes. As alternativas azul e amarela são as que possuem a maior extensão com um traçado mais ao sul cruzando a fronteira com Santa Catarina, o que possibilitaria um ramal até o porto de São Francisco do Sul pela sua proximidade, e no caso da azul o trajeto engloba o maior custo por km; quase R\$ 18 milhões comparado aos R\$ 10 milhões da alternativa roxa. As alternativas amarela e vermelha possuem custos parecidos em torno de R\$ 13 milhões.

### 3.2.2 Aspectos Sociais, Ambientais e Geotécnicos

Ao analisar a forma dos traçados das alternativas do PROFERR é possível constatar, observando a Figura 17 e a Figura 18, que as quatro opções contornam duas Unidades de Conservação Federais: o Parque Nacional Guaricana e o Parque Nacional de Saint-Hilaire/Lange. O Parque Nacional Guaricana criado em 2014 ainda não foi implementado totalmente, seu objetivo é proteger remanescentes de Mata Atlântica da Serra do Mar paranaense, visto que o estudo do traçado foi feito com o apoio de ambientalistas, procurou evitar que o percurso adentrasse a área delimitada do futuro parque. O Parque Nacional de Saint-Hilaire/Lange foi criado em 2001, com pouco mais de 25.000 hectares constitui uma das áreas mais bem conservadas de Mata Atlântica do país na região conhecida como Serra da Prata. Cabe ressaltar que o trecho ferroviário considerado se encontra integralmente no bioma Mata Atlântica e não há a presença de comunidades quilombolas, tampouco terras indígenas, tendo em vista a distância estipulada. Comunidades ilhéus também não foram encontradas. Convém destacar que o trajeto intercepta 15 perímetros urbanos totalizando uma área de 14 hectares aproximadamente e 23 Áreas de Proteção Permanente (APP) de curso d'água além de áreas úmidas e de restinga, contudo, nenhum rio passa pelo trecho. O clima da região é o “Cfb” segundo a classificação de Köppen, temperado com verão ameno e chuvas uniformemente distribuídas com precipitação de 1.100 a 2.000 mm.



Figura 17 - Localização dos Parques Nacionais Interceptados pelo Trecho

Fonte: Google Maps (2019)

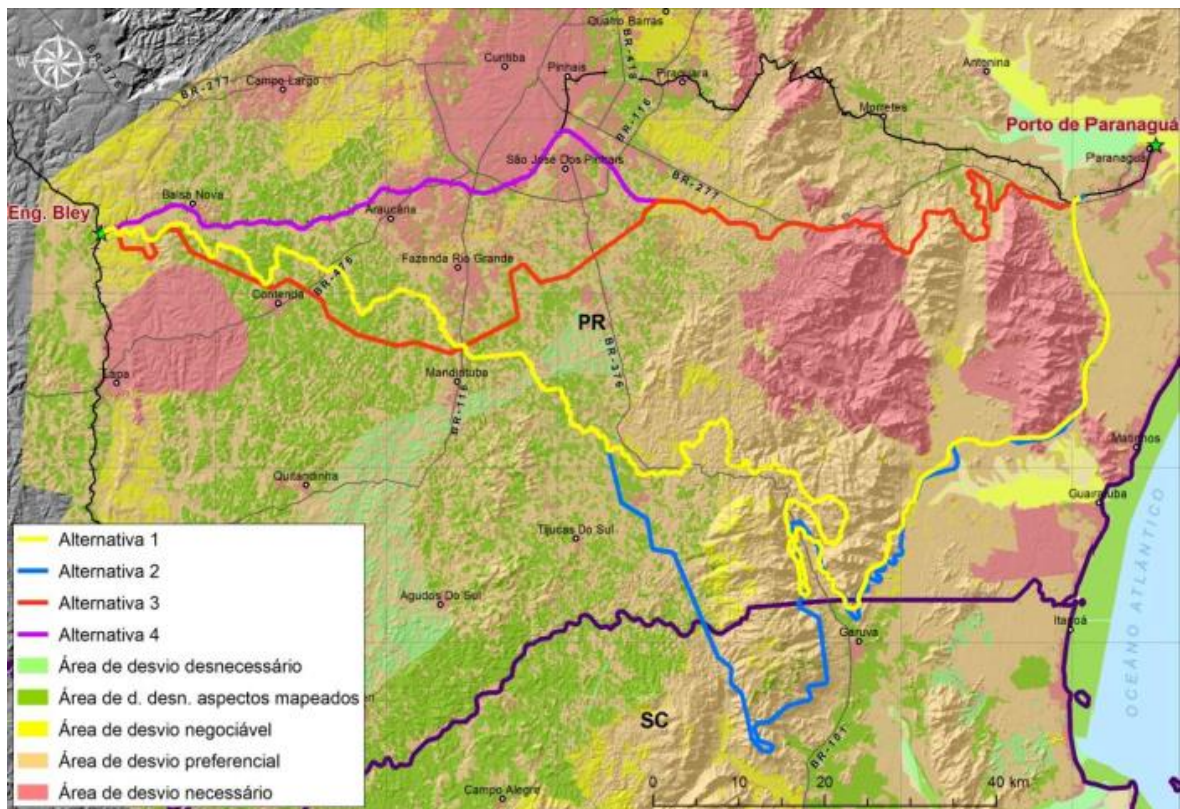


Figura 18 - Interferências Ambientais no trecho entre Curitiba e Paranaguá

Fonte: Estudo do Corredor Oeste, Paraná (2017)

Ao longo do traçado existem duas unidades morfológicas: Planalto e Planície. Após passar pela região de Curitiba o traçado segue por o Planalto do Alto Iguaçu e o Planalto de Curitiba, logo depois este corta a Serra do Mar até chegar na Planície Litorânea. De acordo com Paraná (2017) do ponto de vista geotécnico, entre Curitiba e o litoral o trecho percorre as encostas da Serra do Mar, passando por solos argilosos em ambientes de depósito de tálus. Os cortes nas partes com materiais de terceira categoria podem ter inclinações elevadas desde que respeitadas as normas de estabilidade e os critérios de drenagem. No final do trajeto, já em Paranaguá, o solo passa a ser arenoso e o ambiente é de planície conferindo cortes baixos e aterros sobre solos compressíveis.

## **4. ANÁLISE DE TRAÇADOS**

Neste capítulo será abordado o principal objetivo deste trabalho que é propor uma solução de traçado para o trecho da Nova Ferroeste entre Curitiba e Paranaguá, na descida da Serra do Mar. Primeiramente realizar-se-á uma revisão bibliográfica apresentando normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e aspectos técnicos de traçados ferroviários, comparando também estes com projetos rodoviários. Logo após, será executado o traçado preliminar no trecho em questão utilizando o *software* Infracad da Autodesk®. Por fim, ocorrerá uma análise dos resultados encontrados com o estudo deste traçado.

### **4.1. Aspectos Técnicos no Estudo de Traçados Ferroviários**

O DNIT, em sua Instrução de Serviço Ferroviário (ISF) – 205, apresenta um documento normativo para estudos de traçado de projetos ferroviários no Brasil. Segundo este, os estudos deverão ser executados em duas etapas consecutivas. A primeira é a preliminar, ou também conhecida como estudo de viabilidade, que engloba a coleta, compilação e análise de dados e informações disponíveis, assim como a identificação e estudo das alternativas de traçado; além de uma estimativa sucinta dos custos de implantação. A segunda fase é a definitiva abrangendo a análise e avaliação das alternativas e a escolha de suas concepções geométricas. Nabais (2014) separa a fase definitiva em duas: projeto básico (ou anteprojeto) e projeto executivo. O estudo de traçado é mais intenso na fase preliminar e no anteprojeto, etapas que serão abordadas no estudo realizado neste trabalho, uma vez que o projeto executivo se reporta apenas a questões pontuais, que visam solucionar problemas específicos causados por dificuldades ambientais, desapropriações ou situações não previstas nas fases precedentes. Estes ajustes são feitos geralmente no próprio campo. O estudo de traçado é de importância primordial, pois pode inviabilizar técnica ou economicamente o empreendimento, elevar o custo de tal forma que atrase a construção ou tornar a relação custo-benefício pouco atrativa (NABAIS, 2014). Para Albuquerque (2011) a definição do traçado de uma via impacta diretamente nos custos totais do projeto, uma vez que implicará na quantidade de cortes, aterros e obras de arte a serem executadas. A fluência da via deve ser assegurada com a inserção desta na topografia do terreno da melhor forma possível. A Figura 19 apresenta um fluxograma referente às atividades desenvolvidas no estudo de traçado segundo a instrução normativa 80-EG-00A-26-0000 da Valec.

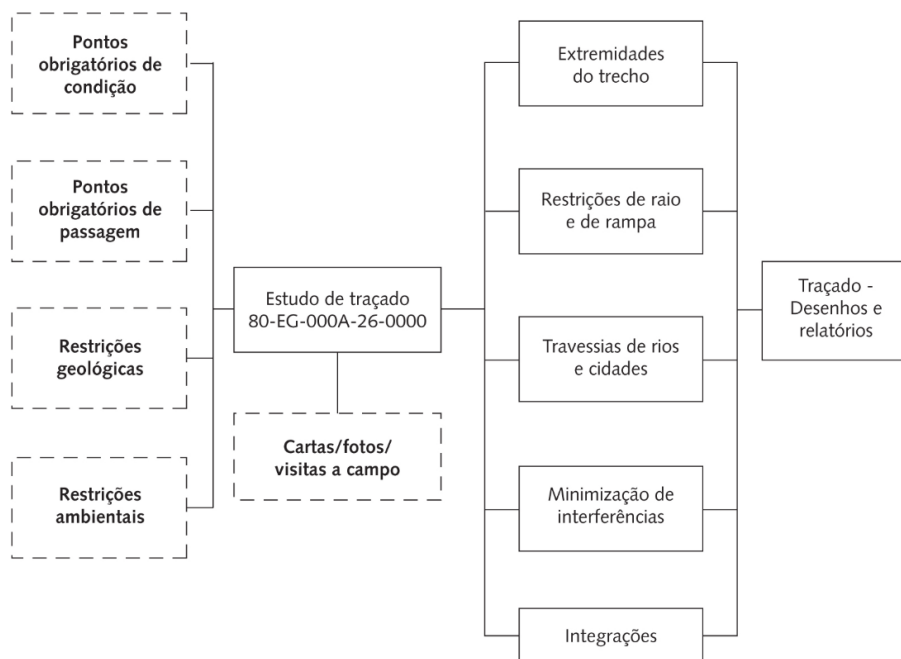


Figura 19 - Fluxograma sobre Estudo de Traçado

Fonte: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, Nabais (2014)

Em regiões montanhosas, como é o caso da Serra do Mar, os traçados tornam-se sinuosos. Monticeli e Oliveira (2018) afirmam que neste tipo de relevo as retas são curtas ou quase inexistentes; as rampas aumentam em extensão e gradiente e, na maioria das vezes, é necessária a construção de túneis, pontes e viadutos para transpor rios e vales. A Serra do Mar ainda está suscetível a movimentos de massa naturais devido ao alto índice pluviométrico. As particularidades das regiões montanhosas exigem o predomínio de estruturas de contenção atirantadas de grande porte e execução de cortes e aterros muito altos, com taludes se estendendo até o fundo dos vales, podendo chegar até mesmo aos talvegues. A descompensação de volumes, entre corte e aterros, na direção longitudinal requer na maioria das vezes a abertura de empréstimos em locais que apresentam escassez de materiais terrosos de boa qualidade e, em contrapartida, há dificuldade de se encontrar lugares adequados para deposição de materiais excedentes. Nessas regiões de topografia acidentada não se recomenda, então, a execução de cortes e aterros em níveis elevados. De forma a manter o traçado da via o mais adequado possível, os projetos preveem uma sucessão de túneis e viadutos, com pequenos trechos em corte, procurando limitar os cortes uma vez que estes podem vir a modificar o equilíbrio natural da encosta e provocar deslizamentos.

#### **4.1.1. Fase Preliminar**

##### **- Coleta e Compilação de Dados**

A coleta e compilação de dados segundo a ISF-205 refere-se às informações que foram apresentadas no capítulo anterior, tais como: elementos topográficos preexistentes; dados geológicos e/ou geotécnicos preexistentes; dados climáticos e fluviométricos; localização de linhas de transmissão de energia e obras de serviços públicos; levantamento de estradas, ferrovias, rios, cursos d'água, portos, indústrias e outros elementos importantes na região; e levantamento de parâmetros relativos à demanda e à operação.

##### **- Identificação e Estudos das Alternativas**

Este item é o que será abordado com mais ênfase neste capítulo. Esta etapa de acordo com a ISF-205 começa com a identificação de possíveis diretrizes que irão nortear o traçado, levando em conta condicionantes como: uso do solo, controles geográficos ou geotécnicos e necessidade de obras-de-arte correntes e especiais. Os Parques Nacionais de Guaricana e Saint-Hilaire/Lange são condicionantes que inviabilizam a passagem do traçado em suas áreas. Após o reconhecimento das diretrizes são estabelecidos critérios de projetos como: número de vias e velocidade diretriz; tipo de bitola e superelevação máxima; gabaritos verticais e horizontais mínimos e veículos de projeto. Neste estudo serão tomados como base as informações contidas no PROFERR e no estudo do Corredor Oeste. Deverão ser formuladas no mínimo 3 alternativas, considerando: aspectos técnicos; de demanda; operacionais; econômicos; financeiros; ambientais e outros que forem necessários (DNIT, 2015). Ainda deve ser elaborada a estimativa de custos preliminares de implantação, estimativa do volume de corte e aterro e uma descrição da quantidade e extensão de Obras de Arte Especiais (OAEs) e túneis.

Nabais (2014) ainda complementa que na fase preliminar o estudo de traçado é iniciado com o reconhecimento dos pontos obrigatórios “de condição”, tais como: cidades, centros produtores, portos e indústrias. Logo, se define os pontos de origem e destino da ferrovia e os locais de interesse que ela deverá passar obrigatoriamente. Após a pesquisa da posição destes pontos e os dados estatísticos/econômicos das cidades que serão atendidas pela ferrovia, vem a etapa de estudo dos pontos obrigatórios “de passagem”, por exemplo: cursos d'água que necessitem de pontes e relevos que possam se cogitar a construção de túneis. É necessário então, nesta parte, muito conhecimento da topografia do terreno, para isso conta-se com a ajuda de fotografias aéreas, satélite e modelos digitais. Na verdade, durante esta fase do estudo não existe um traçado propriamente dito, mas sim alinhamentos

e diretrizes tecnicamente viáveis. Do ponto de vista econômico, a estimativa de custos no Estudo de Viabilidade Técnica e Ambiental (EVTEA) abrange: os custos de implantação da via permanente e investimentos em equipamentos, frota e instalações operacionais; também conhecido como CAPEX, e os custos operacionais; *Operational Expenditure* (OPEX), além das receitas operacionais. Logo depois são analisados a relação custo/benefício e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Nesta fase a estimativa de custos de drenagem, superestrutura ferroviária e obras complementares pode ser realizada por um valor médio por quilômetro. Os custos de construção da infraestrutura da via permanente podem ser obtidos no Sistema de Custos Rodoviários (Sicro). A Figura 20 apresenta um fluxograma das sequências de operações para o estudo de viabilidade técnico-econômica.

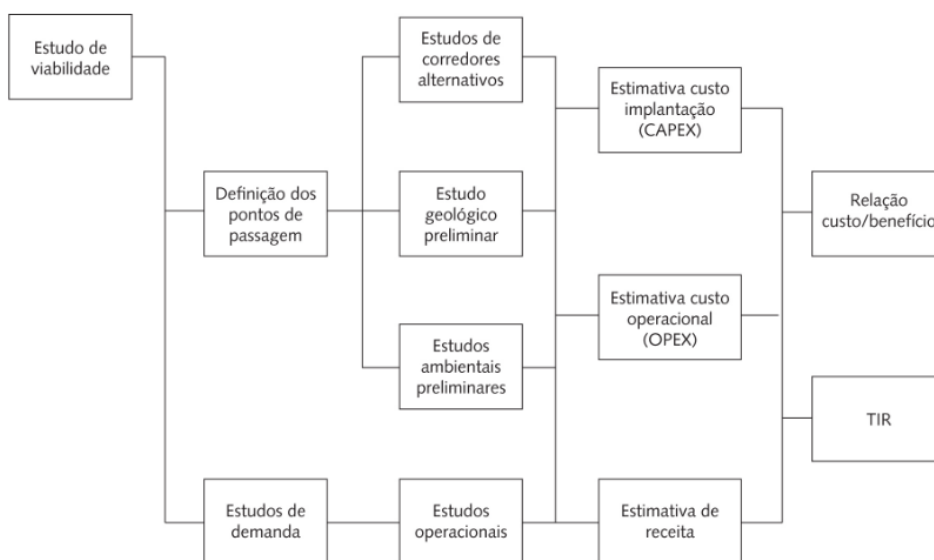


Figura 20 - Fluxograma sobre Estudo de Viabilidade (Preliminar)

Fonte: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, Nabais (2014)

#### 4.1.2. Anteprojeto

Após definida a viabilidade técnica e econômica para a construção da ferrovia, durante a etapa de Anteprojeto ou Projeto Básico é que ocorre, segundo Nabais (2014), o detalhamento da diretriz escolhida. Ou seja, nesta fase do projeto é realizada: a definição dos raios de cada curva; a caracterização dos cruzamentos da via projetada com rios, rodovias, ferrovias e núcleos urbanos próximos; e a otimização de rampas, curvas e movimentação de terra. Ainda segundo o autor é realizada nesta etapa a definição dos pontos obrigatórios de passagem juntamente com o ponto exato do início e fim da ferrovia e a localização dos seus terminais, oficinas e postos de abastecimento. Há também a preocupação acerca da intermodalidade com a escolha dos locais que ocorrerá a integração da ferrovia com outros modais. Por fim são analisados potenciais problemas socioambientais, arqueológicos e



geológicos. A redução destes problemas consiste no descarte de: áreas geologicamente instáveis; locais alagadiços; solos com baixa capacidade potencial; locais com possíveis vestígios materiais históricos e cruzamentos com áreas urbanas.

Nabais (2014) ainda relata a importância desta etapa nos estudos operacionais da via que delimitam as características geométricas dos traçados, influenciando no raio mínimo de curva horizontal e rampa máxima compensada de projeto e, conseqüentemente, na velocidade de projeto e operação. A rampa máxima também define o trem-tipo e este interfere na extensão dos desvios de cruzamento. Caso o projeto seja um prosseguimento de uma linha já existente, o trem-tipo deverá ser compatível com o do trecho em operação. A capacidade da via também é analisada neste momento. Simulações são realizadas para conferir o desempenho dos trens de modo a estabelecer: os tempos de viagem, a velocidade do trem em cada ponto, o consumo de combustíveis e a verificação e/ou revisão do trem-tipo adotado. No Projeto Básico são necessários alguns estudos de campo com investigações geotécnicas e sondagens, os estudos ambientais começam a ser mais detalhados a fim de obter licenças e os quantitativos avaliados são mais precisos, portanto, é possível estimar o custo da obra com mais exatidão. Com base na Lei de Licitações (Lei nº 8.666) é exequível a licitação da obra apenas com o Projeto Básico, apesar deste não apresentar o nível de detalhamento que contém o Projeto Executivo. A Figura 21 apresenta um fluxograma sobre as atividades da etapa de Projeto Básico (Anteprojeito) conforme a instrução normativa 80-IN-011A-00-7001 da Valec.

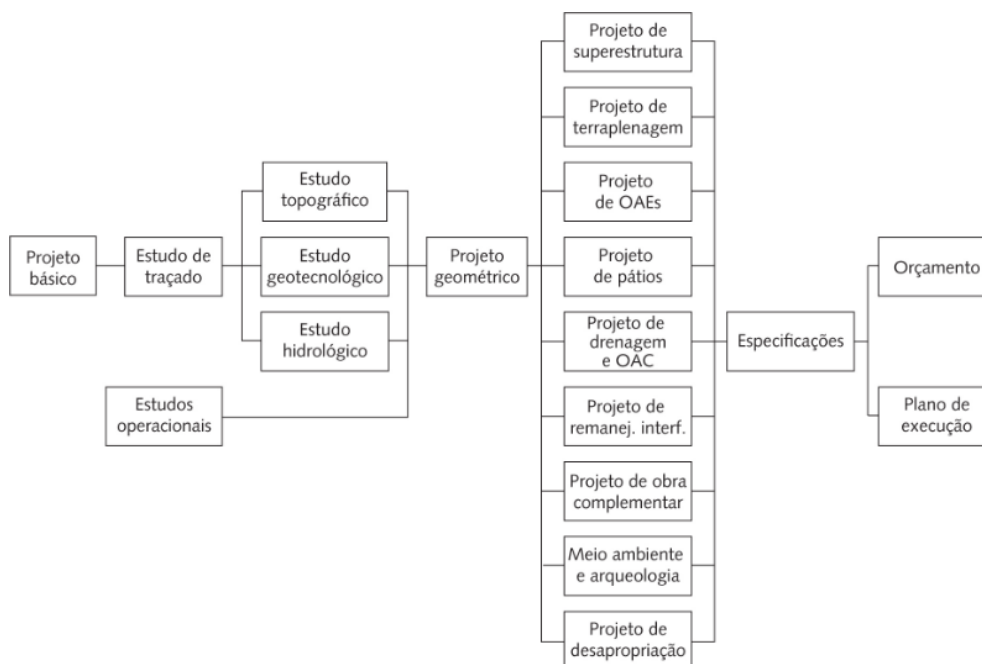


Figura 21- Fluxograma sobre Projeto Básico (Anteprojeito)

#### **4.1.3. Diferenças entre Traçados de Ferrovias e Rodovias**

Nabais (2014) elenca algumas diferenças entre projetos de traçados ferroviários e rodoviários. A decisão sobre a implantação de uma ferrovia surge de uma definição estratégica e econômica que visa categoricamente o transporte de determinada carga de um ponto a outro de forma rápida e segura. Já o processo de escolha de implantação de uma rodovia passa por critérios econômicos, sociais e políticos que definem, após estudos de volume e composição de tráfego, a classe de rodovia adequada para a demanda apresentada. Em relação ao modo de implantação as duas também diferem entre si, uma vez que a rodovia pode ser implantada em etapas independentes, improvisando variantes temporárias, pontes provisórias e revestimentos primários, tornando-se gradualmente apropriada em termos de traçado e revestimento para suprir a demanda. No caso da ferrovia sua implantação requer um trabalho contínuo e integral de construção para pôr em prática as características básicas da via, tais como: bitola, obras de artes especiais e superestrutura. Os grandes centros urbanos solicitam que as rodovias se aproximem ou se desenvolvam em sua direção de forma a conectá-los com outras cidades. Todavia, a passagem de uma ferrovia, principalmente de carga, por dentro de uma região metropolitana não é apreciada em virtude dos ruídos e interferências no tráfego urbano, apresentando pontos negativos para a concessionária da ferrovia, como a redução da velocidade de operação nesses trechos e invasões de faixas de domínio; por isso contornos ferroviários, como o proposto para Curitiba, estão sendo colocados como prioridade para o desenvolvimento da malha ferroviária do país no futuro. As ferrovias também apresentam muito mais restrições em relação a raios e rampas e exigem maiores desenvolvimentos para vencer os mesmos desníveis.

Segundo Albuquerque (2011) trechos excessivamente longos em tangentes são convenientes para ferrovias devido às particularidades técnicas de operação das composições. Sempre é recomendável que o traçado ferroviário seja o mais retilíneo possível, pois curvas horizontais podem representar restrição ao movimento dos trens dependendo dos seus raios de curvatura (PAIVA, 2016). Paiva (2016) ainda complementa que a existência de obstáculos naturais, como no caso deste trabalho a Serra do Mar e conglomerados urbanos, forçam os traçados a contornar estas ocorrências fazendo com que o projeto geométrico ferroviário seja composto por uma sucessão de retas e curvas horizontais. Porém, Albuquerque (2011) afirma que no caso de projetos rodoviários as curvas são bem-vindas de modo a reduzir a sensação de monotonia para o motorista,

conferindo uma visão mais variada e dinâmica no trajeto, propiciando uma melhor condução ótica ao possibilitar ver de frente o que na tangente seria visto perifericamente.

As rampas verticais, também conhecidas por greides ou gradientes, são empregadas para superar os obstáculos geográficos que possuem cotas diferentes ao longo do desenvolvimento do traçado de qualquer estrada. Para Paiva (2016), as locomotivas nas rampas verticais enfrentam grande resistência ao movimento, portanto há certas limitações quanto à inclinação dos greides de modo a assegurar o melhor desempenho de tração destas. Em uma via singela isto implica em um grande período de ocupação da via enquanto a operação ferroviária estiver em direção ao greide ascendente. Os valores máximos dos greides ferroviários dependem dos veículos de tração utilizados principalmente devido à resistência da rampa (PAIVA, 2016). Em regiões montanhosas para transportar grandes desníveis os valores de rampas adotados são iguais ou próximos aos máximos praticados, visando estabelecer um equilíbrio entre o fator econômico e o desempenho operacional das composições. No caso de ferrovias com predomínio do volume de cargas no sentido exportação por exemplo é possível empregar rampas com maior valor na outra direção uma vez que no sentido de retorno os trens viajam mais leves, porém no futuro se ocorrer porventura um equilíbrio de cargas nos dois sentidos o desempenho da via pode ser prejudicado. Este fato pode ser verificado na ferrovia existente entre Curitiba e Paranaguá cuja rampa no sentido importação e exportação são de 3,5% e 1,7% respectivamente. Albuquerque (2011) complementa que a dificuldade no emprego de rampas suaves nos traçados em regiões topograficamente desfavoráveis se dá pelo aumento nos custos de construção que isto acarreta. Para ferrovias não se recomenda rampas compensadas com inclinações maiores que 1,5% em terrenos montanhosos, uma vez que nesta configuração o esforço trator de uma locomotiva é seis vezes maior do que em um terreno plano. Já para rodovias este valor limite de greide máximo é bem mais elevado, podendo variar de 5 a 10% conforme a classe da rodovia.

No caso das rodovias, Albuquerque (2011) relata que o raio mínimo adotado depende da velocidade diretriz da via, da máxima taxa de superelevação e do máximo coeficiente de atrito transversal admissível entre o pneu e o pavimento. As ferrovias têm exigências mais severas quanto às características das curvas que as rodovias. A questão da aderência nas rampas, a solidariedade rodas-eixo e o paralelismo dos eixos de mesmo truque impõem a necessidade de raios mínimos maiores que os das rodovias (ALBUQUERQUE, 2011). Paiva (2016) ainda aponta para o fato de que em um projeto ferroviário ideal, o raio mínimo é determinado a partir da velocidade diretriz estabelecida no projeto conceitual de acordo com

o veículo que irá transitar na via. Quanto menor for o raio mínimo, menor será a velocidade limite para um traçado e no caso de a via não possuir superelevação, os raios necessitarão ser maiores para conferir uma operação segura e confortável. Nabais (2014) complementa que os raios de curva ferroviários são sempre maiores que os rodoviários, recomendando-se o raio mínimo de 343,823 m que atribui à via condições mínimas operacionais, mantendo a velocidade de operação.

Albuquerque (2011) relata que nas ferrovias a superelevação, medida pela diferença de altura entre os trilhos, baseia-se em elevar o nível do trilho externo durante a curva com o intuito de reduzir o desgaste no contato metal-metal e o risco de tombamento em razão da força centrífuga que atua no trem no momento da curva; força esta que desloca o veículo no sentido externo do trilho, ocasionando um grande atrito através dos frisos das rodas. Nas rodovias a superelevação também possui o objetivo de contrabalancear o efeito da força centrífuga e seus valores máximos levam em consideração elementos como a velocidade diretriz e a classe de projeto. Em relação a superlargura, nas rodovias esta corresponde ao acréscimo de largura necessário em uma curva para permanecer as condições de conforto e segurança e a distância mínima entre veículos dos trechos em tangente da mesma rodovia. Isto deve-se ao fato que pelo eixo traseiro dos veículos ser rígido, este não consegue seguir a curvatura da estrada. O valor mínimo adotado é de 0,40 m e a determinação desta distância leva em conta parâmetros como o veículo de projeto e sua largura, distância entre eixos e balanço dianteiro. Já nas ferrovias, a superlargura compreende o excesso de largura em relação à bitola usada geralmente em curvas de pequeno raio, tendo como propósito facilitar a inscrição do truque e dificultar o arrastamento da roda externa sobre o trilho, prevenindo assim desgastes. Para Paiva (2016) nas curvas de projetos geométricos centenários contendo raios inferiores a 300 m, as bitolas das ferrovias são alargadas nas curvas em proporções muito pequenas, de 1 a 3 cm, de forma a permitir a circulação dos trens na via de forma segura e minimamente operacional.

#### **4.2. Execução dos Traçados no Infracore**

A análise de traçado deste trabalho compreende o trecho do projeto da Nova Ferroeste já apresentado no capítulo anterior entre Curitiba e Paranaguá, por se tratar de um estudo preliminar ainda o software escolhido para a execução do projeto foi o *Infracore* da Autodesk®. Este programa é uma plataforma BIM (*Building Information Modeling*) que permite a exportação de dados e informações dos componentes construídos para outras plataformas BIM como exemplo o AutoCad Civil 3D, também da Autodesk®. No caso de um futuro estudo com o intuito de realizar o Projeto Básico ou Executivo do traçado prévio

executado no *Infraworks* neste presente trabalho, o software mais indicado seria o AutoCad Civil 3D a partir do compartilhamento dos dados do modelo. A tecnologia BIM consegue relacionar todas as informações de um projeto integrando-as para uma construção mais assertiva nas suas características técnicas, com prazos e orçamentos bem definidos e inconsistências identificadas com antecedência. A partir do *Infraworks* é possível a criação de projetos conceituais, com análises de alternativas de novas estradas, obtendo-se volumes de corte e aterro mais precisos, além da consideração de limites impostos pelos raios mínimos e rampas máximas.

Antes da execução das alternativas de traçado no software *Infraworks* cabe ressaltar algumas limitações existentes no programa. Por exemplo o gerador de modelos 3D dos terrenos só produz superfícies de até 200 km<sup>2</sup>. Desta forma foram criados dois modelos diferentes representados por Área 1 e Área 2 para contemplar toda a região do trecho, como indica a Figura 22. O estudo se inicia próximo ao pedágio da Ecovia no km 60 da BR-277 no município de São José dos Pinhais; as alternativas analisadas então cruzaram toda a Área 1 até chegar na Área 2 e por fim no ponto final, o Porto de Paranaguá. A Área 1 compreende a parte mais crítica do traçado onde a ferrovia necessita transpor a Serra do Mar, já a Área 2 apresenta mais regiões de planícies o que facilita a concepção da via. As alternativas em questão procuraram seguir, o mais fiel possível, o traçado apresentado no capítulo anterior com base no Estudo do Corredor Oeste (2017) e o PROFERR (2013). Sendo assim buscou-se evitar passar dentro do Parque Nacional Guaricana e do Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange, áreas de desvio necessário localizadas ao sul da BR-277. Esta rodovia orienta as alternativas analisadas em todo o percurso. O estudo também considera características dos estudos anteriores, tais como: o raio mínimo de 350 m, a velocidade de projeto de 80 km/h, a bitola larga de 1,6 m e a rampa máxima no sentido importação de 1,8%. Os traçados visaram aproveitar ao máximo a topografia do terreno e a eficiência da via, evitando sempre que possível a construção de pontes, viadutos e túneis ou outros aspectos que pudessem aumentar o custo da obra como desapropriações. Outra limitação da plataforma escolhida é em relação à função de ferrovias que apresentam bem menos atributos, os quais encontram-se somente no modo de rodovias, por exemplo: cálculo de movimentação de massa entre corte e aterro, ajustes nos raios das curvas e correções no perfil longitudinal e transversal da via. Porém, para solucionar estes problemas a Autodesk<sup>®</sup> liberou o *Infraworks Brazil Content* em seu blog, conteúdo que possui além de normas de traçado do DNIT, layouts de ferrovias para se usar no modo de criação de rodovias, podendo-se assim usufruir de todos os atrativos que o software proporciona.



Figura 22 - Área 1 e Área 2 da Geração de Modelo do Infracworks

Fonte: Autor

Previamente à realização de cada traçado foi feito um reconhecimento do terreno gerado pelo programa a fim de identificar os melhores caminhos para passar a ferrovia. Devido a possíveis imprecisões do software e dificuldades para superar um declive muito íngreme em um intervalo curto de trecho algumas características iniciais do traçado foram alteradas. A rampa máxima de inclinação no sentido importação passou de 1,8% para 2,5% e o raio de curva horizontal mínimo diminuiu de 350 m para 250 m. Cabe ressaltar que mesmo com essas modificações, os traçados realizados neste trabalho apresentam condições operacionais melhores do que a ferrovia existente nesta região a qual possui rampa vertical de 3,5% em alguns trechos e curvas horizontais de 66 m de raio. Após a concepção do esboço inicial de cada alternativa de traçado verificou-se primeiramente como se comportava o perfil da via, as inclinações do greide maiores que 2,5% foram então ajustadas para atender aos limites do projeto; em consequência disso houve a necessidade de criar pontes, viadutos e túneis. Uma vez obtida a geometria vertical da via de cada alternativa deu-se o prosseguimento do estudo com a introdução das curvas horizontais nos pontos que ligavam

as retas iniciais do esboço, sempre verificando se o raio mínimo de 250 m era atendido; caso negativo o traçado naquele ponto era refeito para satisfazer os limites preestabelecidos. Por fim, foram introduzidos na via obras de artes especiais como pontes, viadutos e túneis em locais que se justificava tal inserção, tais como: travessias de rios; estradas e ferrovias; cortes e aterros muito elevados no terreno. No final do estudo calculou-se a movimentação de terra de cada traçado e sua extensão, além de detalhar as extensões das OAEs da via, viadutos construídos em outras vias para transpor a ferrovia de projeto e possíveis áreas de desapropriação. Foram realizadas três alternativas de traçado para cada área em questão.

#### 4.2.1. Área 1

A região compreende basicamente toda a descida da Serra do Mar, começando no km 60 da BR-277 em São José dos Pinhais e terminando no encontro da BR-277 com a Rodovia Governador Mario Covas já no município de Morretes. Os pontos de partida dos traçados analisados encontram-se a uma altitude em torno de 950 m. Após transpor a Serra do Mar os pontos finais das alternativas situam-se a uma altitude de aproximadamente 9 m. Devido ao desnível de mais de 940 m a ser superado e as limitações geométricas impostas, esta área foi a mais trabalhosa para o encaixe correto de cada traçado; necessitando-se de muitas curvas, túneis e viadutos de modo a adequar-se ao terreno e às características operacionais de uma ferrovia. Esta área abrange uma pequena parte do Parque Nacional Guaricana que foi evitada. A Figura 23 e a Figura 24 mostram a região gerada pelo *Infraworks* na qual pode-se observar que no começo o relevo se mantém com características de planalto e logo após encontra-se a zona montanhosa da Serra do Mar. O declive é muito elevado neste ponto resultando no maior desafio para a elaboração deste traçado, já o final do trecho localiza-se em uma área com relevo pouco acidentado.



Figura 23 - Ponto de Partida Área 1

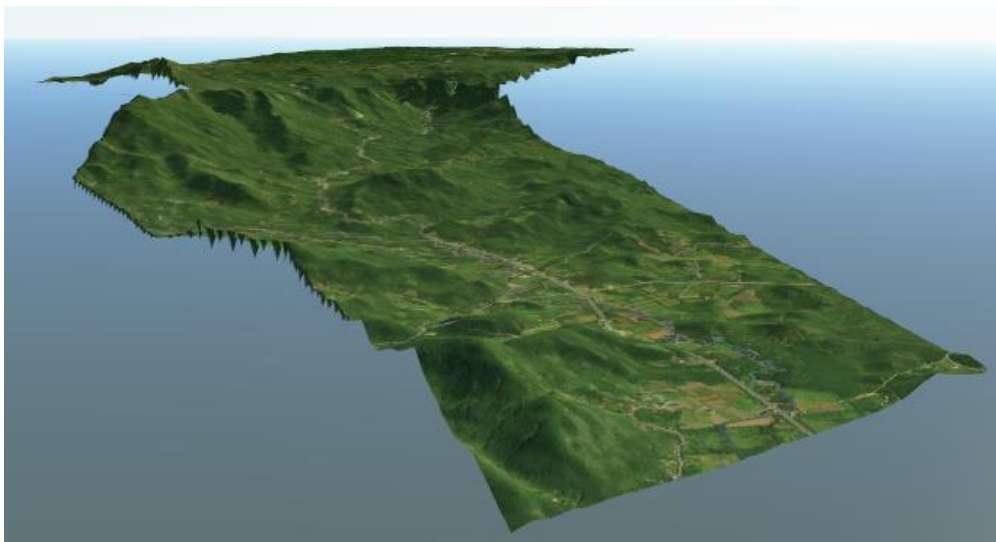


Figura 24 - Ponto Final Área 1

Fonte: Autor

#### 4.2.1.1. Alternativa 1.1

A Alternativa 1.1 desenvolveu-se sempre ao norte da BR-277. O começo do trajeto possui o predomínio de retas até começar definitivamente a descida da Serra do Mar com um túnel de 12,4 km de extensão, seguido de viadutos com gabaritos de altura bastante elevada e extensão de 1 a 3 km devido ao relevo da região, como mostra a Figura 25. A alternativa é a que possui maior extensão de pontes e viadutos. O esboço inicial previa poucas curvas, por isso precisou ser alterado, uma vez que, após a correção das inclinações para 2,5% o final da descida previa um aterro muito elevado conforme a Figura 26 ilustra. Logo, ocorreu-se a inserção de várias curvas para minimizar esta inconsistência. Vale destacar que o perfil inicial do traçado previa inclinações na faixa dos 20% e curvas horizontais de até 17 m que foram posteriormente corrigidas. A alternativa possui um total de 43,2 km de extensão com 10 pontes ou viadutos e 5 túneis. O intervalo de elevação é entre 10,1 m e 954,6 m. A movimentação de terra final do trecho foi de  $6,58 \times 10^7 \text{ m}^3$  de corte e  $1,07 \times 10^6 \text{ m}^3$  de aterro. A Tabela 4 mostra um resumo da alternativa.

Tabela 4 - Resumo Alternativa 1.1

<b>ALTERNATIVA 1.1</b>	
EXTENSÃO TOTAL (m)	<b>43157,77</b>
QUANTIDADE DE TÚNEIS	<b>5</b>
TÚNEL MAIS EXTENSO (m)	<b>12405,11</b>
QUANTIDADE DE PONTES E VIADUTOS	<b>10</b>
PONTE/VIADUTO MAIS EXTENSO (m)	<b>3496,84</b>

Fonte: Autor



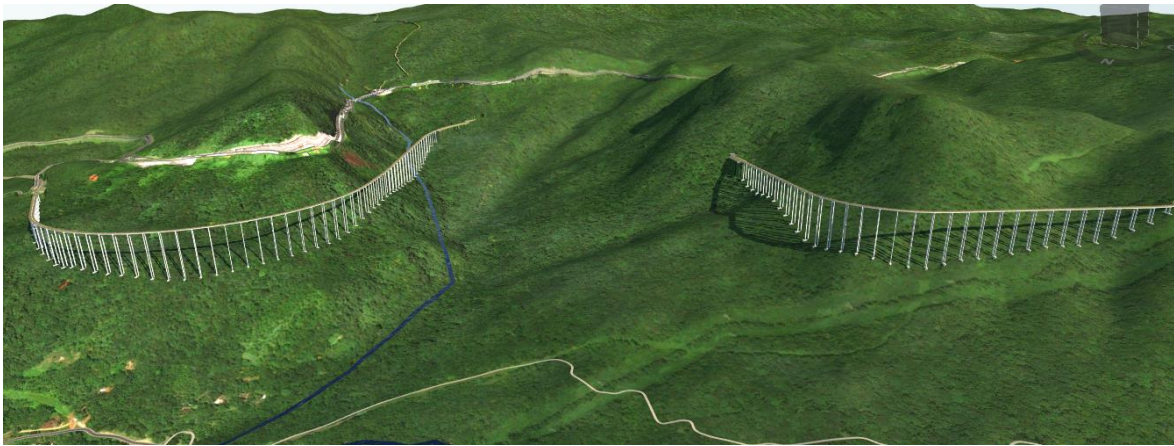


Figura 25 - Viadutos da Alternativa 1.1

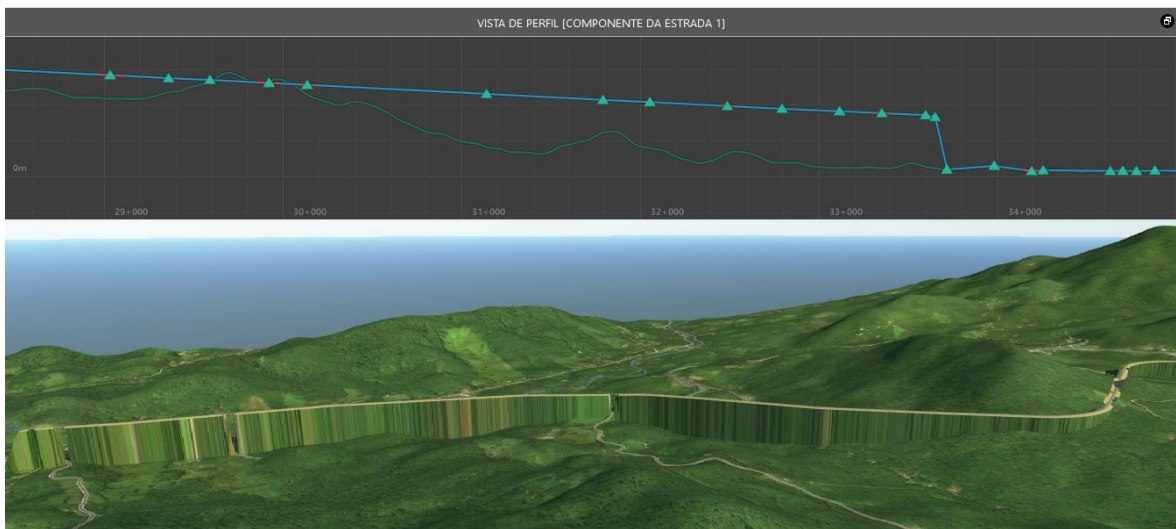


Figura 26 - Inconsistência do Final da Alternativa 1.1

Fonte: Autor

A Figura 27 mostra uma visão em planta do traçado com detalhamento da região da descida e a Figura 28 uma comparação do perfil do esboço inicial da via com o perfil final.



Figura 27 - Vista em Planta da Alternativa 1.1

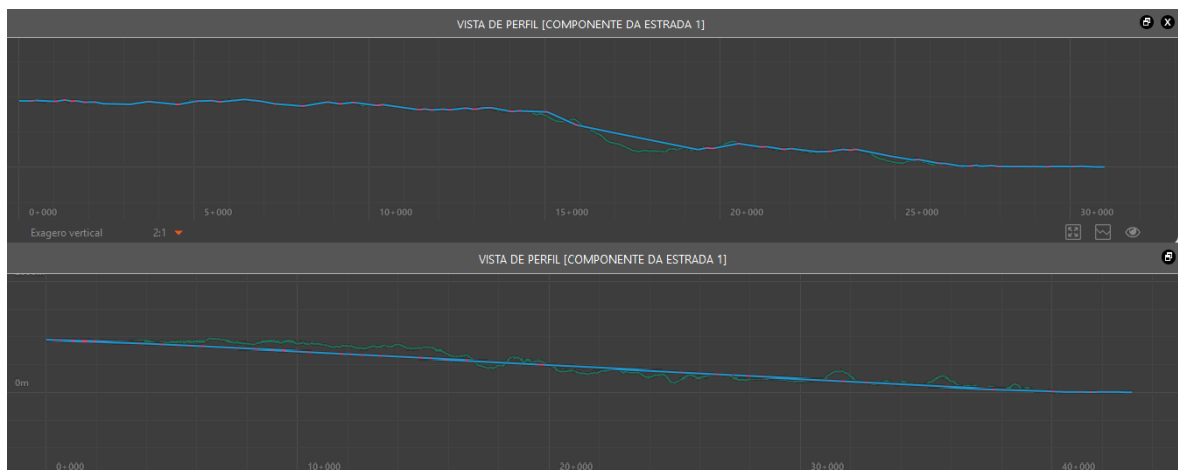


Figura 28 - Alternativa 1.1: Perfil Inicial x Perfil Final

Fonte: Autor

#### 4.2.1.2. Alternativa 1.2

Na Alternativa 1.2 optou-se por desenvolver o traçado ao sul da BR-277 até a descida da Serra do Mar, no final do trecho por questões técnicas a ferrovia cruza a rodovia e termina o trajeto ao norte da BR-277. O começo do traçado percorre as margens do Rio Pequeno até

iniciar efetivamente a descida da serra onde encontra-se um túnel de 15,7 km de extensão. O traçado possui menos viadutos e com menores alturas que a alternativa anterior, porém há a ocorrência de mais túneis, com um total de 8 pontes ou viadutos e de 8 túneis. O perfil inicial projetava inclinações de 10% que foram alteradas de modo a respeitar os critérios de projeto. Assim como ocorrido na Alternativa 1.1, mesmo que o esboço inicial deste traçado dispusesse de mais curvas, novamente sucedeu-se uma inconsistência no final do trecho com aterros muito elevados conforme mostra a Figura 29; a solução adotada foi a inserção de mais curvas e colocar o início da descida antes, que acarretou na extensão de mais de 15 km para o primeiro túnel. A Alternativa 1.2 possui uma extensão de 46,9 km com intervalo de elevação entre 10,1 m e 915,4 m. A movimentação de terra final foi de  $1,12 \times 10^8 \text{ m}^3$  de corte e  $8,77 \times 10^5 \text{ m}^3$  de aterro. A Figura 30 mostra uma vista em planta do traçado com enfoque na região da descida da Serra do Mar e a Figura 31 uma comparação entre o perfil inicial e final da via. A Tabela 5 mostra um resumo da alternativa.

Tabela 5 - Resumo Alternativa 1.2

<b>ALTERNATIVA 1.2</b>	
EXTENSÃO TOTAL (m)	<b>46908,16</b>
QUANTIDADE DE TÚNEIS	<b>8</b>
TÚNEL MAIS EXTENSO (m)	<b>15663,59</b>
QUANTIDADE DE PONTES E VIADUTOS	<b>8</b>
PONTE/VIADUTO MAIS EXTENSO (m)	<b>1030,14</b>

Fonte: Autor

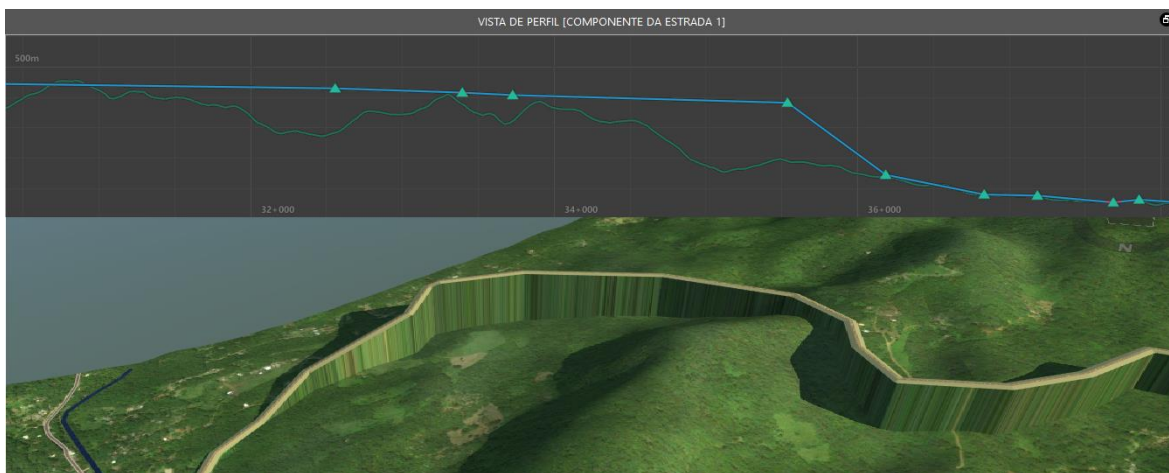


Figura 29 - Inconsistência do Final da Alternativa 1.2



Figura 30 - Vista em Planta da Alternativa 1.2

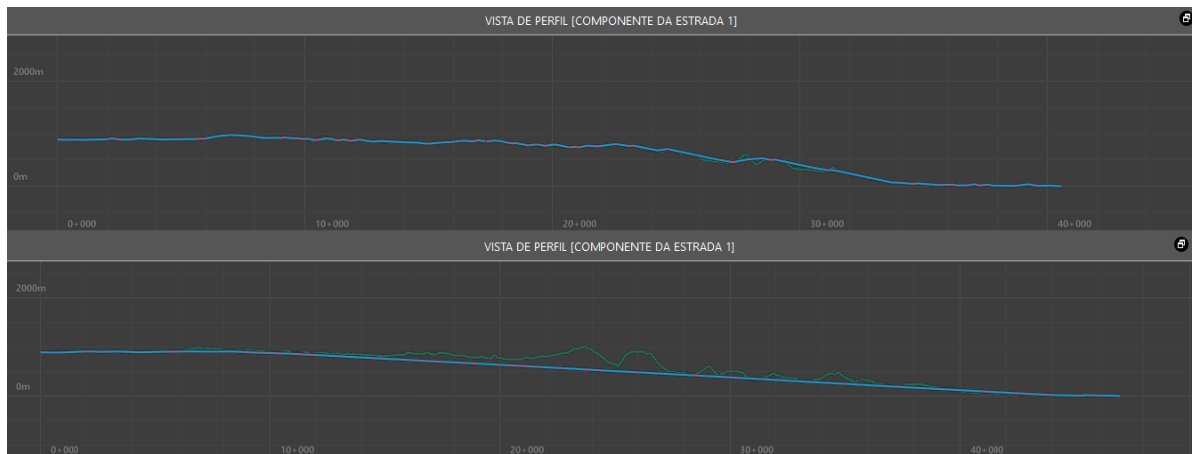


Figura 31 - Alternativa 1.2: Perfil Inicial x Perfil Final

Fonte: Autor

#### 4.2.1.3. Alternativa 1.3

Na Alternativa 1.3 buscou-se um melhor aproveitamento do terreno de modo a evitar viadutos muito altos como na Alternativa 1.1 e túneis extensos da Alternativa 1.2. O traçado corta a BR-277 três vezes durante seu trajeto, começando pelas margens do Rio Pequeno. A alternativa desenvolve-se ao sul da rodovia até chegar o momento de descida onde localiza-

se o túnel mais extenso do trecho que possui 3,9 km, já ao norte da rodovia. O trecho possui 50,8 km, o mais extenso dos três, com 16 pontes ou viadutos e 13 túneis. Do ponto de vista vertical da geometria da via, esta alternativa foi a que mais se encaixou no terreno, e a máxima inclinação inicial foi de 10%, posteriormente corrigida para os limites pré-estabelecidos. As correções de rampas foram menores, pelo fato de o esboço inicial possuir ainda mais curvas que o da Alternativa 1.2 e se inserir melhor no relevo montanhoso da região. Mesmo assim no final do traçado ocorreu também a presença de aterros muito elevados como mostra a Figura 32. Os ajustes realizados foram para aumentar a extensão do traçado e assim chegar a um aterro menor no ponto final do trajeto, principalmente pelo fato de a ferrovia cruzar a BR-277 nesta parte. A geometria horizontal da via precisou de muitos ajustes para se adequar ao raio mínimo de 250 m diferentemente das outras duas alternativas. A curva que precisou de mais reparos é apresentada na Figura 33 que também mostra uma curva com raio pequeno no traçado da ferrovia existente, que liga Curitiba a Paranaguá. O intervalo de elevação é entre 9,5 m e 948,3 m, já a movimentação de terra final foi de  $5,89 \times 10^7 \text{ m}^3$  de corte e  $3,15 \times 10^6 \text{ m}^3$  de aterro. A Tabela 6 mostra um resumo da alternativa.

Tabela 6 - Resumo Alternativa 1.3

<b>ALTERNATIVA 1.3</b>	
EXTENSÃO TOTAL (m)	<b>50789,22</b>
QUANTIDADE DE TÚNEIS	<b>13</b>
TÚNEL MAIS EXTENSO (m)	<b>3922,61</b>
QUANTIDADE DE PONTES E VIADUTOS	<b>16</b>
PONTE/VIADUTO MAIS EXTENSO (m)	<b>1028,7</b>

Fonte: Autor



Figura 32 - Inconsistência do Final da Alternativa 1.3



Figura 33 - Curva Fechada Alternativa 1.3 x Curva Fechada Ferrovia Atual

Fonte: Autor e Google Maps

A Figura 34 mostra a vista em planta do traçado com recorte na região da descida da Serra do Mar, enquanto a Figura 35 compara o perfil inicial com o perfil final após todas as correções do traçado.



Figura 34 - Vista em Planta da Alternativa 1.3

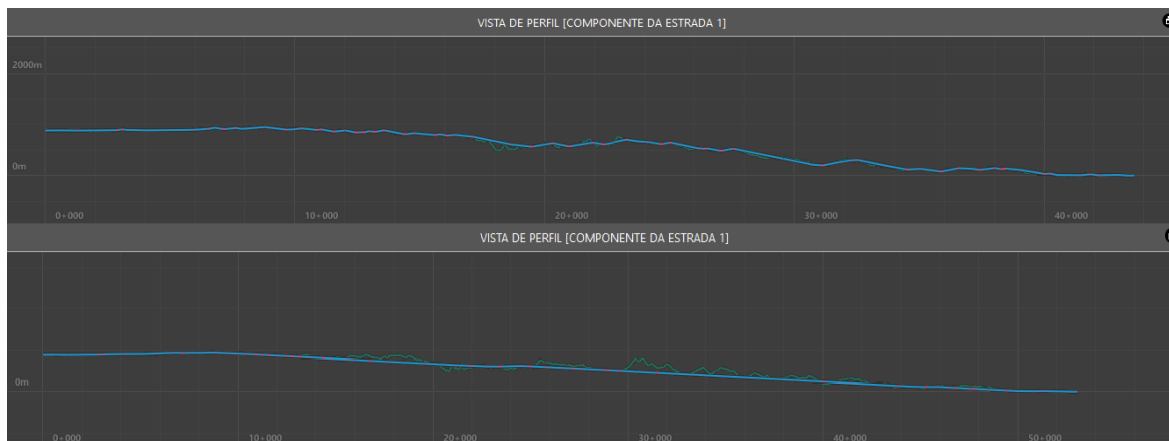


Figura 35 - Alternativa 1.3: Perfil Inicial x Perfil Final

Fonte: Autor

#### 4.2.1.4. Resumo das Alternativas

A Tabela 7 - Comparação das Alternativas da Área 1 mostra um resumo das características encontradas em cada alternativa de traçado. Nota-se que na Alternativa 1.1 optou-se pelo uso de pontes e viadutos em detrimento à construção de túneis. Esta alternativa também possui a menor extensão total de traçado, porém aproximadamente 67% do trajeto está situado em OAEs (pontes, viadutos e túneis) e este apresenta o maior número de passagens em nível ou viadutos em vias já existentes que seriam implantados caso houvesse a construção da ferrovia. Por outro lado, a Alternativa 1.2 deu preferência para a implantação de túneis. Somente o Túnel 4 possui quase a extensão total de todos os túneis da Alternativa 1.1. O traçado também é o que detém a menor extensão de pontes e viadutos, mesmo assim 66% do trajeto está posicionado em OAEs. A preferência para o uso de túneis fez com que a Alternativa 1.2 tivesse o valor mais alto de corte líquido em  $m^3$ . Em contraposição às duas alternativas anteriores, a Alternativa 1.3 buscou um equilíbrio na utilização de túneis e pontes ou viadutos. Apesar de ser a alternativa que possui a maior quantidade de OAEs, a extensão total tanto de pontes/viadutos quanto de túneis situa-se entre as outras duas alternativas. O trajeto apresenta a maior extensão dos três, contudo, apenas 55% deste está situado em OAEs. A Alternativa 1.3 apresenta o maior número de áreas de possíveis desapropriações, entretanto cabe ressaltar que a análise deste critério foi superficial tendo como base o modelo de terreno gerado no software. Em estudos posteriores teria que ser elaborada uma avaliação mais detalhada da região e dos pontos em que a faixa de domínio adentrasse propriedades privadas.

Tabela 7 - Comparação das Alternativas da Área 1

Área 1						
	ALTERNATIVA 1.1		ALTERNATIVA 1.2		ALTERNATIVA 1.3	
OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	TIPO	EXTENSÃO (m)	TIPO	EXTENSÃO (m)	TIPO	EXTENSÃO (m)
		PONTE 1	63,33	PONTE 1	123,23	PONTE 1
	PONTE 2	109,58	TÚNEL 1	1583,13	PONTE 2	320,55
	TÚNEL 1	12405,11	TÚNEL 2	1159,31	VIADUTO 1	187,61
	VIADUTO 1	1209,25	TÚNEL 3	506,06	PONTE 3	244,93
	TÚNEL 2	1647,19	TÚNEL 4	15663,59	VIADUTO 2	147,93
	VIADUTO 2	2239,47	TÚNEL 5	2045,89	TÚNEL 1	1058,9
	VIADUTO 3	3496,84	VIADUTO 1	494,43	TÚNEL 2	643,09
	VIADUTO 4	1598,57	TÚNEL 6	1469,52	TÚNEL 3	3922,61
	VIADUTO 5	1660,86	VIADUTO 2	414,43	TÚNEL 4	172,49
	TÚNEL 3	1579,36	TÚNEL 7	2836,67	PONTE 4	567,36
	TÚNEL 4	2075,63	TÚNEL 8	1547,1	VIADUTO 3	360,59
	TÚNEL 5	548,4	VIADUTO 3	1030,14	VIADUTO 4	361,82
	VIADUTO 6	66,16	VIADUTO 4	535,13	VIADUTO 5	1028,7
	PONTE 3	59,21	VIADUTO 5	446,54	VIADUTO 6	228,11
	PONTE 4	81,14	VIADUTO 6	827,55	VIADUTO 7	212,4
			VIADUTO 7	129,26	TÚNEL 5	2462,41
					VIADUTO 8	672,15
					TÚNEL 6	2832,46
					TÚNEL 7	2262,92
					TÚNEL 8	1061,99
					VIADUTO 9	267,12
					TÚNEL 9	1773,09
					VIADUTO 10	769,43
					TÚNEL 10	1515,82
					TÚNEL 11	877,68
					VIADUTO 11	962,99
					TÚNEL 12	828,15
					TÚNEL 13	2156,82
					VIADUTO 12	48,78
<b>EXTENSÃO TOTAL DO TRAÇADO (m)</b>	<b>43.157,77</b>		<b>46.908,16</b>		<b>50.789,22</b>	
<b>MOVIMENTAÇÃO DE TERRA (m3)</b>	<b>CORTE</b>	<b>ATERRO</b>	<b>CORTE</b>	<b>ATERRO</b>	<b>CORTE</b>	<b>ATERRO</b>
	6,58 x 10 <sup>7</sup>	1,07 x 10 <sup>6</sup>	1,12 x 10 <sup>8</sup>	8,77 x 10 <sup>5</sup>	5,89 x 10 <sup>7</sup>	3,15 x 10 <sup>6</sup>
<b>CORTE/ATERRO LÍQUIDO (m3)</b>	<b>CORTE</b>	<b>6,47 X 10<sup>7</sup></b>	<b>CORTE</b>	<b>1,11 X 10<sup>8</sup></b>	<b>CORTE</b>	<b>5,57 X 10<sup>7</sup></b>
<b>PASSAGENS EM NÍVEL OU VIADUTOS EM VIAS JÁ EXISTENTES</b>	<b>8</b>		<b>5</b>		<b>4</b>	
<b>ÁREAS DE POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES</b>	<b>8</b>		<b>6</b>		<b>9</b>	
<b>EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS (m)</b>	<b>10.584,41</b>		<b>4.000,71</b>		<b>6.493,15</b>	
<b>EXTENSÃO DE TÚNEIS (m)</b>	<b>18.255,69</b>		<b>26.811,27</b>		<b>21.568,43</b>	



#### 4.2.2. Área 2

A região encontra-se em área de planície litorânea com intervalos de elevação variando entre 25 m e o nível do mar. Por este motivo, após a concepção do traçado inicial de cada alternativa, não houve a necessidade de realizar-se alterações consideráveis nas rampas verticais e curvas horizontais como ocorrido na Área 1. O ponto inicial dos traçados situa-se no município de Morretes perto do local onde termina a Área 1, já o ponto final está localizado na cidade de Paranaguá. Cada alternativa terminou seu trajeto encontrando a ferrovia já existente em determinado trecho. Cabe salientar que a partir da convergência das duas estradas de ferro, a superestrutura da via terá que ser adequada aos dois tipos de bitola – larga e estreita – uma vez que os trens de ambas compartilharão a operação da via dentro da cidade de Paranaguá, Todavia, isto não entrará em discussão durante a análise das alternativas propostas. Devido ao fato de que todas as três alternativas anteriores terminaram seu traçado ao norte da BR-277, este foi o ponto inicial adotado para o começo de cada estudo. A Área 2 abrange também ao sul da BR-277 o Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange, local que foi evitado. A Figura 36 e a Figura 37 mostram o terreno gerado pelo *Infracore* para esta região.



Figura 36 – Ponto de Partida Área 2



Figura 37 - Ponto Final Área 2

Fonte: Autor

#### 4.2.2.1. Alternativa 2.1

Na Alternativa 2.1 procurou-se evitar regiões acidentadas de modo a não ter a necessidade da implantação de túneis. O traçado corta a BR-277 duas vezes e a ferrovia existente uma vez. O trajeto se desenvolve em área de planície, encontrando-se com a Estrada de Ferro Curitiba-Paranaguá já na entrada da cidade. A alternativa possui 22,34 km de extensão com 8 pontes ou viadutos e nenhum túnel. O viaduto mais extenso possui 178,41 m. A movimentação de terra final foi de  $4,6 \times 10^5 \text{ m}^3$  de corte e  $1,14 \times 10^6 \text{ m}^3$  de aterro. A Figura 38 mostra a vista em planta do traçado e a Figura 39 o perfil vertical da via.

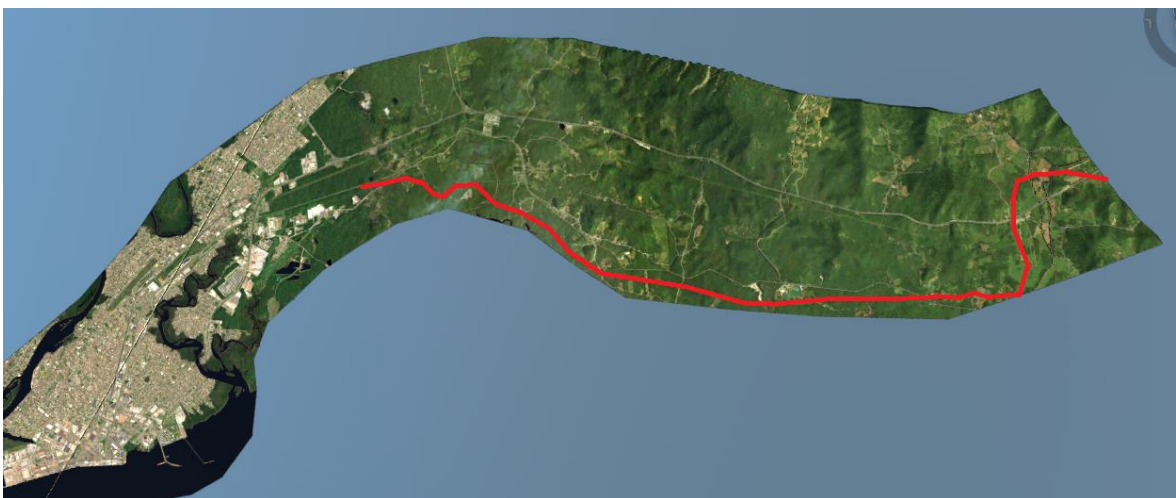


Figura 38 - Vista em Planta da Alternativa 2.1

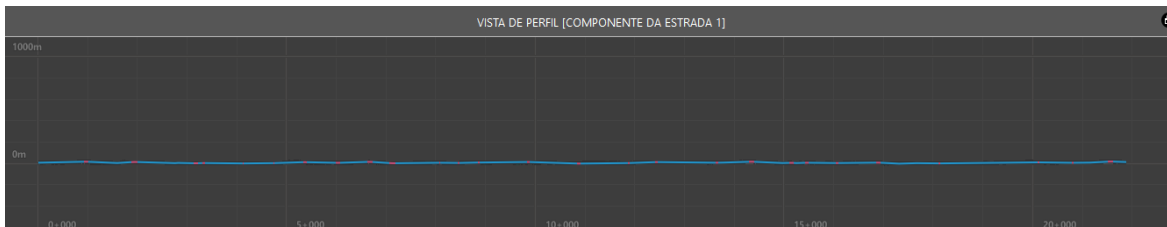


Figura 39 - Perfil Vertical da Alternativa 2.1

Fonte: Autor

#### 4.2.2.2. Alternativa 2.2

Na Alternativa 2.2 optou-se por não cruzar a BR-277 e a Estrada de Ferro Curitiba-Paranaguá. Assim sendo, o traçado não se ateuve às características do relevo tomando como base a BR-277 em todo o trajeto. Por esta razão a alternativa foi a que precisou de mais ajustes de rampas máximas e raios mínimos, para atender aos requisitos mínimos do projeto. No entanto, este traçado é o que apresenta menos curvas horizontais, sendo composto predominantemente por retas. O encontro com a ferrovia existente acontece em um ponto mais afastado da cidade de Paranaguá. A alternativa possui 17,08 km com 6 pontes ou viadutos e 3 túneis. O túnel mais extenso possui 837,25 m e o viaduto mais extenso 229,13 m. A movimentação de terra foi de  $2,69 \times 10^6 \text{ m}^3$  de corte e  $9,79 \times 10^5 \text{ m}^3$  de aterro. A Figura 40 apresenta o traçado e a Figura 41 o greide vertical da alternativa.

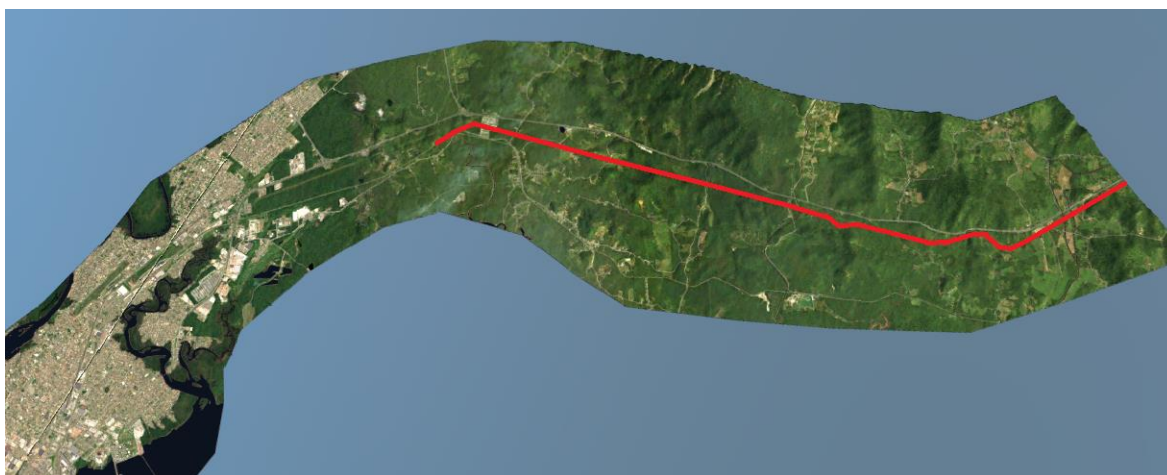


Figura 40 - Vista em Planta da Alternativa 2.2

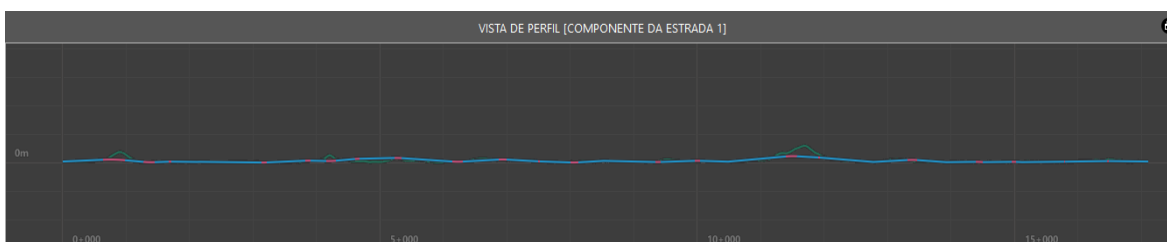


Figura 41- Perfil Vertical da Alternativa 2.2

Fonte: Autor

#### 4.2.2.3. Alternativa 2.3

Na Alternativa 2.3 buscou-se desenvolver o traçado paralelo à Estrada de Ferro Curitiba-Paranaguá. O trajeto passa perto de muitas propriedades privadas, implicando em mais áreas de desapropriações. Outro diferencial deste trecho é a escolha por finalizar o traçado dentro da cidade de Paranaguá, onde encontra-se a ferrovia existente já no Terminal Logístico da Rumo; se por um lado isto diminui os custos de readequação de superestrutura da via, por outro dispense mais gastos com obras viárias dentro do perímetro urbano da cidade. A alternativa possui 26,49 km de extensão com 8 pontes (a mais extensa com 110,87 m) ou viadutos e 1 túnel de 306,31 m. A movimentação de terra estimada foi de  $1,08 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de corte e  $1,08 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de aterro. A Figura 42 apresenta a vista em planta do traçado e a Figura 43 o perfil vertical da via.

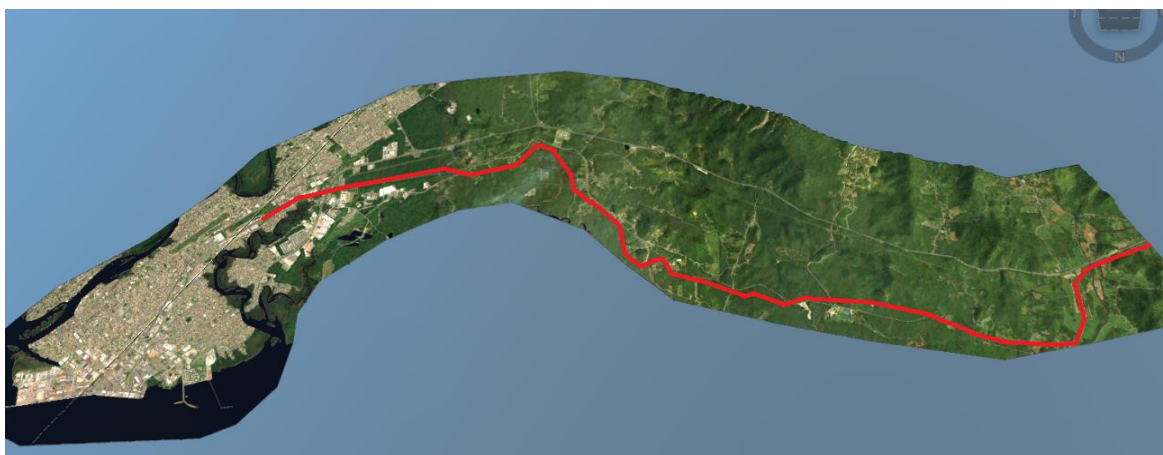


Figura 42 - Vista em Planta da Alternativa 2.3

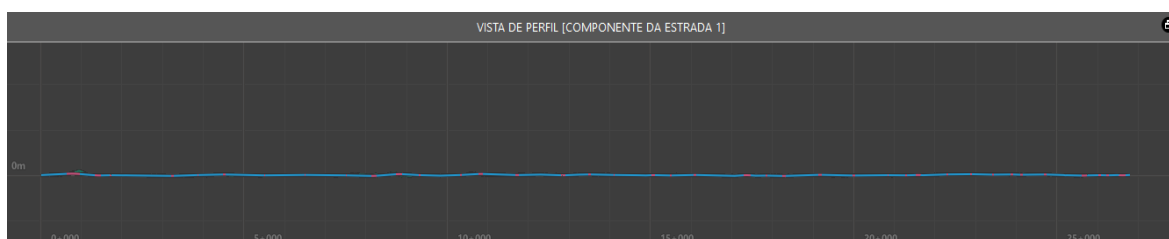


Figura 43 - Perfil Vertical da Alternativa 2.3

Fonte: Autor

#### 4.2.2.4. Resumo das Alternativas

A Tabela 8 - Comparação das Alternativas da Área 2 mostra um resumo das particularidades encontradas em cada alternativa de traçado. Ao analisar a Alternativa 2.1 constata-se que o trajeto evitou passar por regiões de relevo acidentado, logo não há nenhum túnel no trecho e este possui o menor número de OAEs. Em contrapartida, esta alternativa

possui a maior extensão de pontes e viadutos, totalizando 4,2% de todo o traçado em OAEs. Já a Alternativa 2.2 possui a menor extensão de traçado das opções apresentadas, porém isto conferiu ao caminho a necessidade da implantação de 3 túneis, um deles com mais de 800 m, logo a alternativa apresenta a maior extensão total de túneis. Nesta alternativa 12% do traçado está localizado em OAEs, a maior porcentagem entre todas as possibilidades da Área 2. Como aspectos favoráveis destacam-se a menor extensão de pontes e viadutos e apenas 3 áreas de possível desapropriação. Diferentemente das outras opções, a movimentação de terra resultou em um corte líquido de  $1,71 \times 10^6 \text{ m}^3$ . A Alternativa 2.3 possui a maior extensão de traçado, porém analisando o trajeto a porcentagem de OAEs é de apenas 3,73%. O número de passagens em nível e viadutos em vias já existentes é o maior de todas as opções, pelo fato de o caminho adentrar no perímetro urbano de Paranaguá. A movimentação de terra gerou a menor diferença entre corte e aterro – aterro líquido de  $1,59 \times 10^3 \text{ m}^3$ .

Tabela 8 - Comparação das Alternativas da Área 2

Área 2						
	ALTERNATIVA 2.1		ALTERNATIVA 2.2		ALTERNATIVA 2.3	
OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	EXTENSÃO		EXTENSÃO		EXTENSÃO	
	TIPO	(m)	TIPO	(m)	TIPO	(m)
	VIADUTO 1	104,8	TÚNEL 1	436,7	TÚNEL 1	306,31
	PONTE 1	105,91	PONTE 1	77,86	PONTE 1	86,75
	PONTE 2	96,92	PONTE 2	81,17	PONTE 2	71,36
	VIADUTO 2	178,41	TÚNEL 2	145,39	PONTE 3	110,87
	VIADUTO 3	99,12	PONTE 3	141,26	VIADUTO 1	110,46
	PONTE 3	133,4	TÚNEL 3	837,25	VIADUTO 2	59,21
	PONTE 4	108,65	VIADUTO 1	71,29	VIADUTO 3	74,44
VIADUTO 4	100,42	VIADUTO 2	39,51	VIADUTO 4	126,55	
		VIADUTO 3	229,13	VIADUTO 5	40,74	
<b>EXTENSÃO TOTAL DO TRAÇADO (m)</b>	<b>22.134,80</b>		<b>17.082,52</b>		<b>26.487,38</b>	
<b>MOVIMENTAÇÃO DE TERRA (m<sup>3</sup>)</b>	<b>CORTE</b>	<b>ATERRO</b>	<b>CORTE</b>	<b>ATERRO</b>	<b>CORTE</b>	<b>ATERRO</b>
	$4,6 \times 10^5$	$1,14 \times 10^6$	$2,69 \times 10^6$	$9,79 \times 10^5$	$1,08 \times 10^6$	$1,08 \times 10^6$
<b>CORTE/ATERRO LÍQUIDO (m<sup>3</sup>)</b>	ATERRO	$6,81 \times 10^5$	CORTE	$1,71 \times 10^6$	ATERRO	$1,59 \times 10^3$
<b>PASSAGENS EM NÍVEL OU VIADUTOS EM VIAS JÁ EXISTENTES</b>	6		6		9	
<b>ÁREAS DE POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES</b>	8		3		8	
<b>EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS (m)</b>	927,63		640,22		680,38	
<b>EXTENSÃO DE TÚNEIS (m)</b>	0,00		1.419,34		306,31	

Fonte: Autor

### 4.3. Análise dos Traçados Realizados Através do Uso de Matriz AHP

As alternativas de traçado desenvolvidas no software *Infracore* englobaram uma série de variáveis que dificultam a tomada de decisão com base em apenas um ou outro critério, por este motivo a escolha da melhor alternativa de traçado de cada área é conduzida por um processo hierárquico analítico mais conhecido como matriz AHP, na qual mediante uma análise multicritério define-se pesos e importâncias para cada atributo buscando chegar na melhor decisão. Algumas considerações precisam ser comentadas uma vez que o estudo em questão não ponderou fatores que poderiam acarretar custos nas próximas etapas de projeto. A análise leva como base apenas a extensão de túneis e pontes, sem levar em conta a altura dos pilares das pontes ou as técnicas de construção de túneis referentes à geotecnia de cada região do trajeto. Os valores de movimentação de terra são apenas estimativas geradas diretamente pelo software. As possíveis áreas de desapropriação também carecem de informações detalhadas, tais como avaliações em campo. Saaty (1991) recomenda uma escala de importância para comparação dos critérios apresentada na tabela da Figura 44, em que 1 significa indiferença na seleção entre dois critérios e 9 revela uma extrema importância de um critério sobre o outro.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Figura 44 - Comparação de Critérios em uma Matriz AHP

O peso dos critérios foi escolhido pelo Autor, com base nos custos que cada um interfere no valor total do projeto e na precisão das informações obtidas no software. O critério mais importante foi a porcentagem de obras de arte especiais em relação a extensão total da via, uma vez que pontes e túneis provocam custos altos no decorrer da implantação de uma ferrovia e um projeto com uma extensão pequena e muitas OAEs pode ser mais caro que uma obra de extensão maior com menor quantidade de OAEs. Logo após, diretamente ligado ao primeiro parâmetro, vem o critério da extensão de túneis seguido da extensão de pontes, visto que geralmente o preço da construção por km de túnel apresenta valores mais altos que o km de ponte construído em projetos rodoferroviários. Em seguida aparece a extensão total dos traçados e as passagens em nível ou viadutos que teriam sua construção realizada com a inserção da nova ferrovia na região como atributos a serem considerados. Por fim, como critérios de menor importância, encontram-se as possíveis áreas de desapropriação e a movimentação de terra por trecho, devido a pouca precisão destes dados.

A Tabela 9 - Comparação entre Critérios da Matriz AHP apresenta uma matriz recíproca, em que os elementos abaixo da diagonal principal são o inverso dos elementos acima, com a comparação de importância entre critérios escolhida pelo Autor realizado no editor de planilhas Microsoft Excel<sup>®</sup>. Logo após a criação da matriz foi calculado o auto vetor de cada parâmetro, que se trata da média geométrica de cada linha da matriz, e posteriormente realizada a normalização dos auto vetores, gerando assim os pesos de cada critério para a tomada de decisão. Em seguida calculou-se o índice de consistência (IC) e a razão de consistência (RC) para conferência dos dados. O primeiro é medido pela multiplicação do somatório de cada coluna com cada auto vetor normalizado – autovalor máximo – menos a dimensão da matriz que no caso é 7 dividido pela dimensão menos um. Já o segundo refere-se a razão entre o índice de consistência encontrado e o índice randômico que no caso é tabelado conforme Saaty (1991) e para uma matriz 7x7 o valor é de 1,32. A Figura 45 mostra a equação do índice e razão de consistência. A razão de consistência deu um total de apenas 2,93% de incoerência. Por se tratar de um valor baixo o método pôde ser mantido.

$$\text{I.C.} = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \begin{array}{l} n \text{ (dimensão da matriz)} \\ \lambda_{\max} \text{ autovalor máximo} \end{array}$$

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\text{Índice Randômico (IR) para } n}$$

Figura 45 - Equação Índice de Consistência e Razão de Consistência

Tabela 9 - Comparação entre Critérios da Matriz AHP

	% OAEs / EXTENSÃO TOTAL	EXTENSÃO DE TÚNEIS	EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS	EXTENSÃO TOTAL	PASSAGENS EM NÍVEL	POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	<b>AUTO VETOR</b>	<b>AUTO VETOR NORMALIZADO</b>
% OAEs / EXTENSÃO TOTAL	1	1	2	2	4	5	5	2,354	26,26%
EXTENSÃO DE TÚNEIS	1	1	2	2	3	5	5	2,259	25,21%
EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS	1/2	1/2	1	2	3	4	5	1,626	18,14%
EXTENSÃO TOTAL	1/2	1/2	1/2	1	3	4	4	1,292	14,41%
PASSAGENS EM NÍVEL	1/4	1/3	1/3	1/3	1	3	4	0,731	8,15%
POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1	1	0,363	4,05%
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1	1	0,338	3,77%

IC	3,862%
RC	2,926%

Fonte: Autor



Após a definição dos pesos de cada critério na influência da escolha do melhor traçado, foi elaborada a matriz de decisão. Como em todos os parâmetros um menor valor, tanto de km de extensão e metros cúbicos de terra quanto do número de passagens em nível e áreas desapropriadas, refere-se a um atributo melhor foi preciso harmonizar os dados analisados para depois normalizá-los e inseri-los na matriz de decisão. Na Área 2 alguns valores precisaram ser reajustados. Por exemplo, como a alternativa 2.1 não possui nenhum túnel e os cálculos de harmonização envolveriam divisões por zero foi acrescido 10 m de túnel nesta extensão. Já na movimentação de terra desta área como um corte líquido é preferível do que um aterro líquido em razão de que nem todo material de corte pode ser reaproveitado como aterro; as movimentações de terra das alternativas 2.1 e 2.3 foram multiplicadas por 10. Logo em seguida com a porcentagem das alternativas em cada critério, foi criada a matriz de decisão, somando o produto do vetor dos critérios com o vetor de cada alternativa obtêm-se o vetor de decisão. A alternativa que tiver o maior valor será a opção escolhida como melhor traçado de acordo com os dados e pesos atribuídos.

Conforme mostra a Tabela 11 - Matriz de Decisão Área 1 ocorreu um equilíbrio nos traçados realizados, com leve vantagem para a Alternativa 1.3. A Tabela 12 - Matriz de Decisão Área 2 aponta que a diferença entre as alternativas nesta área foi maior e a de número 2.1 foi escolhida com 48%. O traçado final será composto, então, pela junção da Alternativa 1.3 com a Alternativa 2.1. A Tabela 10 - Dados do Traçado Final revela as características finais do traçado escolhido. Os anexos deste trabalho mostram imagens retiradas do *Infraworks* de pontes, viadutos, túneis, passagens em nível e trechos importantes dos traçados das alternativas 1.3 e 2.1.

Tabela 10 - Dados do Traçado Final

<b>TRAÇADO FINAL</b>	
EXTENSÃO TOTAL (m)	<b>72924,02</b>
% OAEs / EXTENSÃO TOTAL	<b>39,75%</b>
EXTENSÃO DE TÚNEIS (m)	<b>21568,43</b>
EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS (m)	<b>7420,78</b>
QUANTIDADE DE TÚNEIS	<b>13</b>
QUANTIDADE DE PONTES E VIADUTOS	<b>24</b>
PASSAGENS EM NÍVEL	<b>10</b>
ÁREAS DE POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	<b>17</b>
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA (m <sup>3</sup> )	<b>5,5 x 10<sup>7</sup> CORTE LÍQUIDO</b>

Fonte: Autor

Tabela 11 - Matriz de Decisão Área 1

ALTERNATIVAS	% OAEs / EXTENSÃO TOTAL	EXTENSÃO DE TÚNEIS	EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS	EXTENSÃO TOTAL	PASSAGENS EM NÍVEL	POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	VETOR DE DECISÃO
VETOR DE CRITÉRIOS	26,26%	25,21%	18,14%	14,41%	8,15%	4,05%	3,77%	
ALTERNATIVA 1.1	30,93%	39,57%	18,96%	36,10%	21,74%	31,03%	36,44%	31,14%
ALTERNATIVA 1.2	31,40%	26,94%	50,14%	33,22%	34,78%	41,38%	21,24%	34,24%
ALTERNATIVA 1.3	37,68%	33,49%	30,90%	30,68%	43,48%	27,59%	42,32%	34,62%

ALTERNATIVAS	EXTENSÃO TOTAL	HARMONIZAR	NORMALIZAR	ALTERNATIVAS	PASSAGENS EM NÍVEL	HARMONIZAR	NORMALIZAR
ALTERNATIVA 1.1	43158	3,263705454	36,10%	ALTERNATIVA 1.1	8	2,125	21,74%
ALTERNATIVA 1.2	46908	3,002792701	33,22%	ALTERNATIVA 1.2	5	3,4	34,78%
ALTERNATIVA 1.3	50789	2,773336746	30,68%	ALTERNATIVA 1.3	4	4,25	43,48%
ALTERNATIVAS	EXTENSÃO DE TÚNEIS	HARMONIZAR	NORMALIZAR	ALTERNATIVAS	POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	HARMONIZAR	NORMALIZAR
ALTERNATIVA 1.1	18256	3,650032866	39,57%	ALTERNATIVA 1.1	8	2,875	31,03%
ALTERNATIVA 1.2	26811	2,485360486	26,94%	ALTERNATIVA 1.2	6	3,833333333	41,38%
ALTERNATIVA 1.3	21568	3,089530786	33,49%	ALTERNATIVA 1.3	9	2,555555556	27,59%
ALTERNATIVAS	EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS	HARMONIZAR	NORMALIZAR	ALTERNATIVAS	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	HARMONIZAR	NORMALIZAR
ALTERNATIVA 1.1	10584	1,991496599	18,96%	ALTERNATIVA 1.1	64700000	3,576506955	36,44%
ALTERNATIVA 1.2	4001	5,268182954	50,14%	ALTERNATIVA 1.2	111000000	2,084684685	21,24%
ALTERNATIVA 1.3	6493	3,246265209	30,90%	ALTERNATIVA 1.3	55700000	4,154398564	42,32%
ALTERNATIVAS	% OAEs/EXTENSÃO TOTAL	HARMONIZAR	NORMALIZAR	Fonte: Autor			
ALTERNATIVA 1.1	0,67	2,805970149	30,93%				
ALTERNATIVA 1.2	0,66	2,848484848	31,40%				
ALTERNATIVA 1.3	0,55	3,418181818	37,68%				

Tabela 12 - Matriz de Decisão Área 2

ALTERNATIVAS	% OAEs / EXTENSÃO TOTAL	EXTENSÃO DE TÚNEIS	EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS	EXTENSÃO TOTAL	PASSAGENS EM NÍVEL	POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	VETOR DE DECISÃO
VETOR DE CRITÉRIOS	26,26%	25,21%	18,14%	14,41%	8,15%	4,05%	3,77%	
ALTERNATIVA 2.1	40,39%	96,18%	26,21%	31,93%	37,50%	21,43%	0,23%	48,14%
ALTERNATIVA 2.2	14,14%	0,68%	38,01%	41,38%	37,50%	57,14%	0,92%	22,15%
ALTERNATIVA 2.3	45,48%	3,14%	35,77%	26,69%	25,00%	21,43%	98,85%	29,70%

ALTERNATIVAS	EXTENSÃO TOTAL	HARMONIZAR	NORMALIZAR	ALTERNATIVAS	PASSAGENS EM NÍVEL	HARMONIZAR	NORMALIZAR
ALTERNATIVA 2.1	22135	2,968375875	31,93%	ALTERNATIVA 2.1	6	3,5	37,50%
ALTERNATIVA 2.2	17083	3,84622139	41,38%	ALTERNATIVA 2.2	6	3,5	37,50%
ALTERNATIVA 2.3	26487	2,480650885	26,69%	ALTERNATIVA 2.3	9	2,333333333	25,00%
ALTERNATIVAS	EXTENSÃO DE TÚNEIS	HARMONIZAR	NORMALIZAR	ALTERNATIVAS	POSSÍVEIS DESAPROPRIAÇÕES	HARMONIZAR	NORMALIZAR
ALTERNATIVA 2.1	10	173,5	96,18%	ALTERNATIVA 2.1	8	2,375	21,43%
ALTERNATIVA 2.2	1419	1,222692037	0,68%	ALTERNATIVA 2.2	3	6,333333333	57,14%
ALTERNATIVA 2.3	306	5,669934641	3,14%	ALTERNATIVA 2.3	8	2,375	21,43%
ALTERNATIVAS	EXTENSÃO DE PONTES E VIADUTOS	HARMONIZAR	NORMALIZAR	ALTERNATIVAS	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	HARMONIZAR	NORMALIZAR
ALTERNATIVA 2.1	928	2,422413793	26,21%	ALTERNATIVA 2.1	6810000	1,253436123	0,23%
ALTERNATIVA 2.2	640	3,5125	38,01%	ALTERNATIVA 2.2	1710000	4,991754386	0,92%
ALTERNATIVA 2.3	680	3,305882353	35,77%	ALTERNATIVA 2.3	15900	536,8490566	98,85%
ALTERNATIVAS	% OAEs/EXTENSÃO TOTAL	HARMONIZAR	NORMALIZAR				
ALTERNATIVA 2.1	0,042	4,745238095	40,39%				
ALTERNATIVA 2.2	0,12	1,660833333	14,14%				
ALTERNATIVA 2.3	0,0373	5,343163539	45,48%				

Fonte: Autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O último capítulo do trabalho aborda as conclusões finais deste estudo após as análises dos traçados realizados no software *Infraworks* e comentando como novos projetos ferroviários, como o caso da Nova Ferroeste, poderão mudar o panorama atual da malha ferroviária brasileira, juntamente com medidas que eliminem os gargalos físicos e operacionais existentes. Por fim, o capítulo apresenta também sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1. Considerações Finais

O trabalho contemplou todos os objetivos gerais e específicos mencionados no Capítulo 1. Ao abordar o contexto geral da malha ferroviária brasileira, passando pela história das ferrovias no país até o panorama atual, com enfoque no estado do Paraná, região do projeto do estudo de caso, e destacando a importância das ferrovias para o escoamento de mercadorias com baixo valor agregado até os portos; nota-se que é imprescindível para um país com a extensão territorial do Brasil o aumento da participação do modal ferroviário no transporte de cargas.

O cenário apresentado mudará com a implantação de novas e modernas ferrovias, como é o caso da Nova Ferroeste. Porém este avanço deverá vir junto com melhorias nas vias já existentes e eliminação dos gargalos físicos e operacionais, caso contrário as novas vias férreas esbarrarão nos problemas já conhecidos do setor. A padronização das bitolas será fruto de um trabalho a longo prazo e gradual, ao que tudo indica a bitola larga será a utilizada nos novos projetos ferroviários, sendo então preferível a convergência da malha para esta medida, lembrando-se que a bitola mista poderá ser implantada em alguns trechos como forma de minimizar o problema. A regulação do modal ferroviário brasileiro precisa ser consistente e livre de inseguranças jurídicas; com o exercício pleno do tráfego mútuo e direito de passagem. Devido à complexidade que envolve um modelo horizontal à curto prazo a melhor solução para o modal no Brasil, atualmente, seria um modelo compartilhado com Operadores Ferroviários Independentes operando *short lines* e a adequação da legislação quando dois modelos regulatórios estiverem em vigor simultaneamente. Passagens em nível, principalmente dentro de cidades, precisam ser revistas e através da realização de investimentos tirar as vias férreas dos centros urbanos para que trens não precisem ter que diminuir drasticamente a velocidade nestes trechos. O modal ferroviário necessita interagir mais com os outros tipos de modais – rodoviário e aquaviário – para garantir-se a intermodalidade diminuindo assim os custos logísticos no transporte de cargas.

Aliado aos problemas apresentados está a necessidade de novos projetos ferroviários, como a Nova Ferroeste, que visa aumentar a participação do modal no porto de Paranaguá devido à demanda do agronegócio no oeste do estado, que atualmente está refém do modal rodoviário principalmente pelos gargalos encontrados na Serra da Esperança e Serra do Mar. O estudo de caso do presente trabalho apresenta uma diferença de cota de aproximadamente 950 m em um trajeto em torno de 70 km. Foi utilizado o *Infraworks* uma plataforma BIM para realização dos traçados preliminares na região; pôde-se constatar que um projeto ferroviário nestas condições de relevo acaba tornando-se muito mais difícil que um projeto rodoviário, pelo fato do limite da inclinação máxima ser menor. De forma a conseguir transpor a Serra do Mar na inclinação de 2,5% muitas curvas precisaram ser incorporadas ao esboço inicial, não pela questão do traçado se enquadrar ao terreno, mas devido à criação de curvas permitir aumentar a extensão do trajeto, para não se chegar na parte final do trecho com aterros muito elevados em relação ao nível do mar. Através da análise multicritério utilizando o método da matriz AHP chegou-se ao traçado final. O vetor de decisão da Área 1 apontou a Alternativa 3 como a melhor escolha. Neste traçado buscou-se um equilíbrio na extensão de obras de arte especiais bem como uma melhor disposição da via no terreno. Na Área 2 ganhou a alternativa que evitou a implantação de túneis, uma vez que este parâmetro possui peso elevado na comparação. Por fim destaca-se a importância de softwares com a tecnologia BIM para facilitar e otimizar o processo de estudos de traçado preliminares nos projetos ferroviários e de infraestrutura como um todo.

## **5.2.Recomendações para Trabalhos Futuros**

- Estudo mais detalhado dos problemas atuais encontrados na conjuntura da malha ferroviária brasileira, com identificação de soluções a curto, médio e longo prazo para estes gargalos físicos e operacionais;
- Análise de todo o trajeto da Nova Ferroeste, de Dourados (MS) até o Porto de Paranaguá, através do software *Infraworks* e inserção de novos parâmetros para tomada de decisão utilizando matriz AHP;
- Exportação das informações e dados obtidos no *Infraworks* para o AutoCAD Civil 3D para a realização do estudo do projeto básico do traçado final apresentado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Samuel Menezes. **Ferrovias: Aspectos Técnicos de Projeto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011, 48 p.

ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. **150 ANOS de ferrovia no Brasil**. Rio de Janeiro: Edição comemorativa, 2004, 43 p.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Anuário Estatístico 2018**. 2018. Disponível em: < [http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario\\_Estatistico.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario_Estatistico.html)> acesso em 3 de fevereiro de 2019.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Declaração de Rede 2015**, 2015. Disponível em: < <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/4751/Ferroviaria.html>> acesso em 27 de março de 2019.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Declaração de Rede EFPO 2018**, 2018. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Declaracao\\_de\\_Rede\\_2018.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Declaracao_de_Rede_2018.html)> acesso em 3 de fevereiro de 2019.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Superintendência de Infraestrutura e Serviços de Transporte Ferroviário de Cargas. **Evolução do Transporte Ferroviário de Cargas**, 2016, 16 p.

AUTODESK. **Infraworks Brazil Content**. 2018. Disponível em: < <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/brazilcontent/>> acesso em 21 de maio de 2019.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4.ed, São Paulo: Bookman, 2001.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 1993

BORGES Neto, Carlos. **Manual Didático de Ferrovias**. Universidade Federal do Paraná, 2018

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001. Cap. 10: Infraestrutura de transporte. 278-302 p. Brasil entre 1852 e 1957. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013, 465 p.

BRASIL, Governo Federal; Ministério dos Transportes; ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **PROFERR Ferrovias – Programa de Investimentos em Logística: Estudo de Engenharia – Trecho Lapa/PR – Paranaguá/PR**, 2013, 79 p.

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro – Volume 1 e 2**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1988, 259 p.

CASTRO, Newton de. **Estrutura, desempenho e perspectivas do transporte ferroviário de carga**. Revista Pesquisa e Planejamento Econômico, 2002

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Estatístico de Fevereiro de 2019**. 2019. Disponível em: < <https://www.cnt.org.br/boletins>> acesso em 5 de maio de 2019.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Transporte e Desenvolvimento: Entraves Logísticos ao escoamento da Soja e do Milho**. Estudo Técnico, Brasília, 2015, 155 p.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro**. Estudo Técnico - Brasília, 2013, 58 p.

COELI, Carla Costa de Medina. **Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelos da Ferronorte**. Dissertação (Mestrado) – Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004, 136 p.

CORREDOR BIOCEÂNICO FERROVIÁRIO. **Estudos Referentes ao Eixo de Capricórnio: avaliação dos corredores bioceânicos**. Estudo Técnico, Brasília, 2010, 224 p.

CPCS Transcom. **Paraná Multimodal Project: final report**. Estudo Técnico, Canadá, 2006, 136 p.

CURY, Marcus Vinicius Quintella. **Escolha entre a bitola larga brasileira e a bitola internacional padrão para a linha 4 do metrô do Rio de Janeiro**. Nota Técnica, Rio de Janeiro, 2011.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Instrução de Serviço Ferroviário 205: Estudo de Traçado**. Nota Técnica, Brasília, 2015, 17 p. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicos-ferroviarios>> acesso em 4 de abril de 2019.

FALCÃO, Viviane. **A Importância do Transporte Ferroviário de Carga para a Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento**. Revista de Engenharia Civil. Ed. 45, 2013, 51-63 p.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Panorama do Transporte Ferroviário no Brasil: Desafios e Oportunidades**. Artigo, 2015, 3p. Disponível em: < [https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/artigo\\_panorama\\_do\\_transporte\\_ferroviario\\_no\\_brasil\\_-\\_desafios\\_e\\_oportunidades5.pdf](https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/artigo_panorama_do_transporte_ferroviario_no_brasil_-_desafios_e_oportunidades5.pdf)> acesso em 10 de junho de 2019.

FILARDO, Maria Lúcia Rangel; ILARIO, Antônio Augusto; DA SILVA, Gerson Daniel; DE CARVALHO, Marcelo Alves. **A Logística da Exportação de Soja do Estado de Mato Grosso para o Porto de Santos**. Revista de Economia Mackenzie, 2005, 35-52 p.

FINGER, Anna Eliza. **Um Século de Estradas de Ferro – Arquiteturas das ferrovias no Brasil entre 1852 e 1957**. Tese (Doutorado) – Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 2013, 465 p.

G1. **Greve dos caminhoneiros chega ao 5º dia e causa reflexos pelo país; governo aciona forças federais para desbloquear estradas**. Notícia, 2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/greve-de-caminhoneiros-chega-ao-5-dia-e-causa-reflexos-pelo-pais.ghtml>> acesso em 19 de junho de 2019.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Considerações sobre os marcos regulatórios do setor ferroviário brasileiro – 1997-2012**. Nota Técnica, Brasília, 2012, 19 p.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Transporte Ferroviário de Cargas no Brasil: Gargalos e Perspectivas para o Desenvolvimento Econômico Regional**. Estudo Técnico – Brasília, 2010, 58 p.

KROETZ, Lando Rogério. **As Estradas de Ferro do Paraná 1880 – 1940**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985, 201 p.

LACERDA, Sander Magalhães. **Ferrovias Sul-Americanas: A Integração Possível**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, 2009, 185-284 p.

LAMBERT, Douglas M.; STOCK, James R.; VANTINE, José G. **Administração estratégica da logística**, São Paulo: Vantine Consultoria, 1998, 912 p.

LANG, Aline Eloyse. **As ferrovias no Brasil e avaliação econômica de projetos: uma aplicação em projetos ferroviários**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 2007, 154 p.

LUCAS, Camila Gertrudes; BELLINI, Luciana Penna. **A Importância da Revitalização do Transporte Ferroviário de Carga para a Economia Brasileira**. Artigo, João Pessoa, 2016, 15 p.

MOHR, João Arthur. **Um Novo Modelo de Regulação do Transporte Ferroviário de Cargas no Brasil com foco no Direito de Passagem e Tráfego Mútuo e a Experiência Mundial sobre o tema**. Artigo (Pós-Graduação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017

MONTICELLI, João Jerônimo; OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos. **Geologia de engenharia e ambiental: volume 3**. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018, 356 p.

NABAIS, José da Silva. **Manual básico de engenharia ferroviária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NOVA FERROESTE. **Resumo do Projeto da Nova Ferroeste**: consulta pública. Curitiba, 2017, 4 p. Disponível em: <<http://www.novaferroeste.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1>> acesso em 24 de março de 2019.

PAIVA, Cassio Eduardo de Lima. **Super e Infraestruturas de ferrovias: critérios para projeto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016, 313 p.

PARANÁ, Governo do Estado do. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Estudo do Corredor Oeste de Exportação do Estado do Paraná**. Curitiba, 2017, 89 p.

PELLEGRIN, Rodolfo Bez Batti de. **Proposta Técnica para Expansão da Malha Ferroviária de Santa Catarina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –



Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014, 103 p.

PELT 2035– Plano Estadual de Logística em Transporte do Paraná. **Guia de Obras para o Desenvolvimento do Paraná**. Revista Fórum Permanente Futuro 10 Paraná, 2016, 52 p.

REIS, Sílvia Araújo dos. **Demanda por Transporte Ferroviário: O caso do transporte de açúcar na malha ferroviária da Região Centro-Sul**. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Industrial, PUC Rio, Rio de Janeiro, 2007, 128 p.

RESENDE, Paulo Vilela de; SOUSA, Paulo Renato de; CERQUEIRA, Paulo Rodrigues. **O Modelo de Concessão Ferroviária no Brasil sob a Ótica dos Usuários**. Artigo, São Paulo, 2009, 16 p.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Operação ferroviária: planejamento, dimensionamento e acompanhamento**. Rio de Janeiro: LTC, 2016, 162 p.

SAATY, Thomas Lorie. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Makron Books, 1991.

SANTOS, Sílvio dos. **Um estudo sobre a participação do modal ferroviário no transporte de cargas no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005, 144 p.

SEIL – Secretária de Infraestrutura e Logística do Estado do Paraná. **Malha Ferroviária do Estado do Paraná**. 2019. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=194>> acesso em 7 de abril de 2019.

SILVEIRA, Airton Dornelles. **Análise da conjuntura política e econômica do processo de privatização da ferrovia gaúcha: o liberalismo, a modernização do país pela intervenção do estado na economia, o desenvolvimento e a privatização da ferrovia do Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Pensamento Político Brasileiro, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998, 138 p.

SILVEIRA, Airton Dornelles; SLHESSARENKO, Michelli. **Aumento da Participação do Transporte Ferroviário na Logística**. Artigo, 2015

SILVEIRA, Márcio Rogério. **Estradas de ferro no Brasil**. Das primeiras construções às parcerias público-privadas. Rio de Janeiro: Interciência, 2007, 204 p.

SILVEIRA, Márcio Rogério. **Transporte e Logística: As ferrovias no Brasil**. Revista Geosul, Florianópolis, 2002, 63-86 p.

TAMAGUSKO, Tiago Barreto. **Custo de Falta de Padronização das Bitolas Ferroviárias do Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013, 84 p.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **História da Engenharia Ferroviária no Brasil**. Rio de Janeiro: Notícias & Cia, 2011

VIANNA, Geraldo. **O mito do rodoviarismo brasileiro**. São Paulo: NTC&Logística, 2007, 72 p.

## ANEXOS

### IMAGENS DO TRAÇADO FINAL RETIRADAS DO INFRAWORKS



Ponte 1



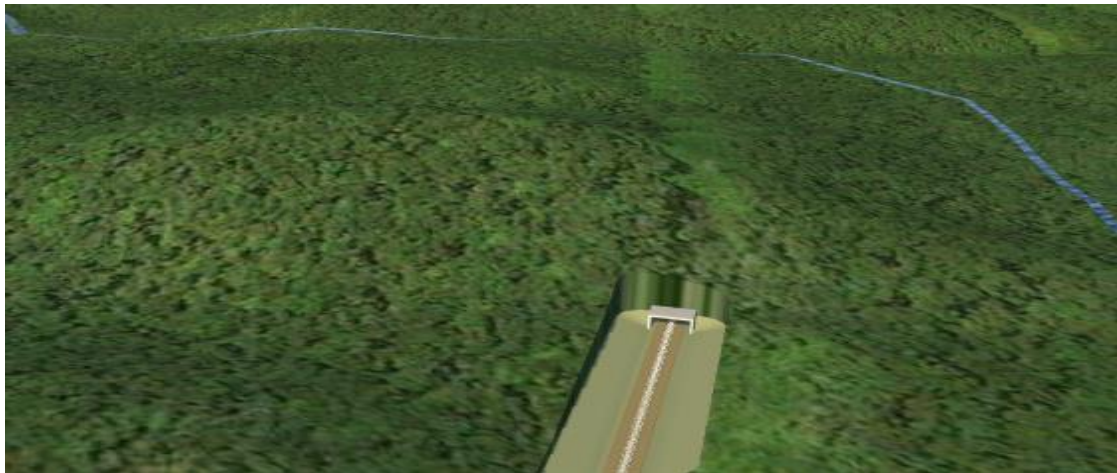
Ponte 2 e Viaduto 1



Ponte 3 e Viaduto 2



Cruzamento com a BR-277 e Túnel 1



Túnel 2



Túnel 3 e Túnel 4



Túnel 4 e Ponte 4



Viaduto 3



Viaduto 4



Viaduto 5 e Viaduto 6



Viaduto 7 e Túnel 5



Túnel 5 e Viaduto 8



Túnel 6



Túnel 7 e Túnel 8



Túnel 8 e Viaduto 9



Túnel 9 e Viaduto 10



Viaduto 10, Cruzamento com a BR-277 e Túnel 10



Túnel 11



Viaduto 11



Túnel 12 e Túnel 13

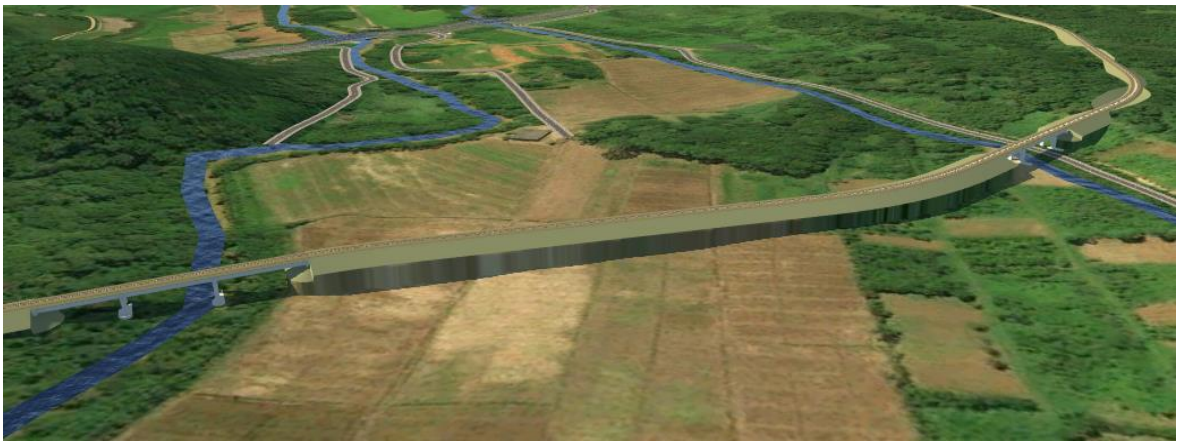


Viaduto 12





Viaduto 13 e Cruzamento com a BR-277



Ponte 5 e Ponte 6



Viaduto 14 e Cruzamento com a BR-277



Viaduto 15 e Cruzamento com a ferrovia operada pela Rumo



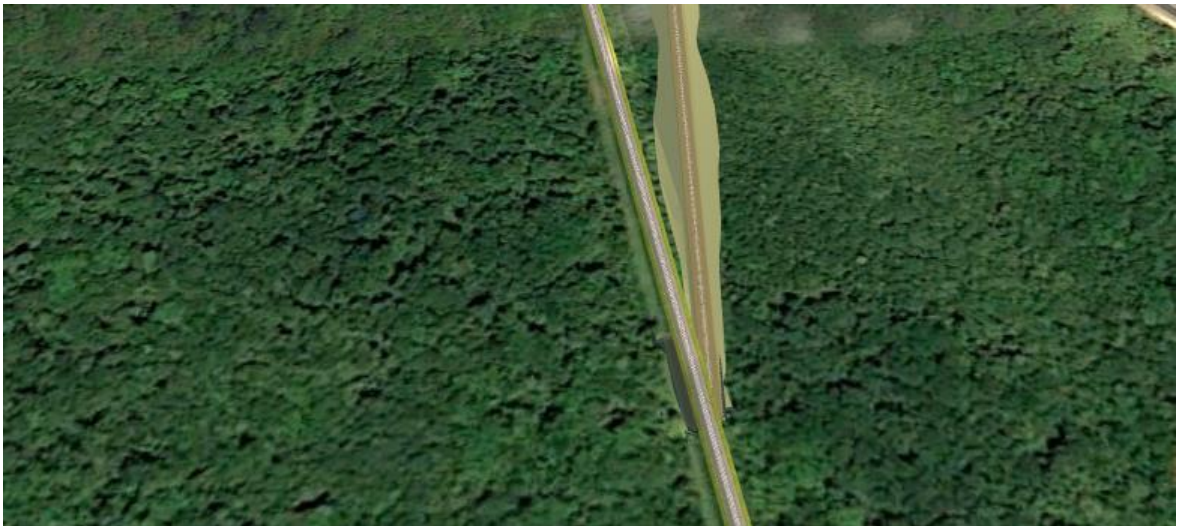
Ponte 7



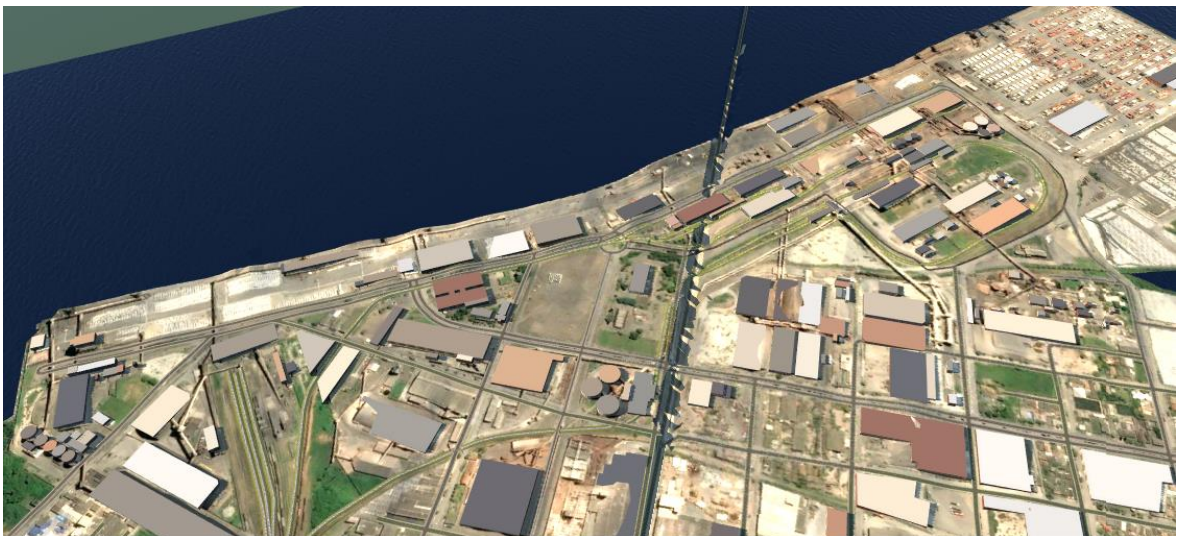
Ponte 8



Viaduto 16



Encontro das duas ferrovias



Porto de Paranaguá (PR)