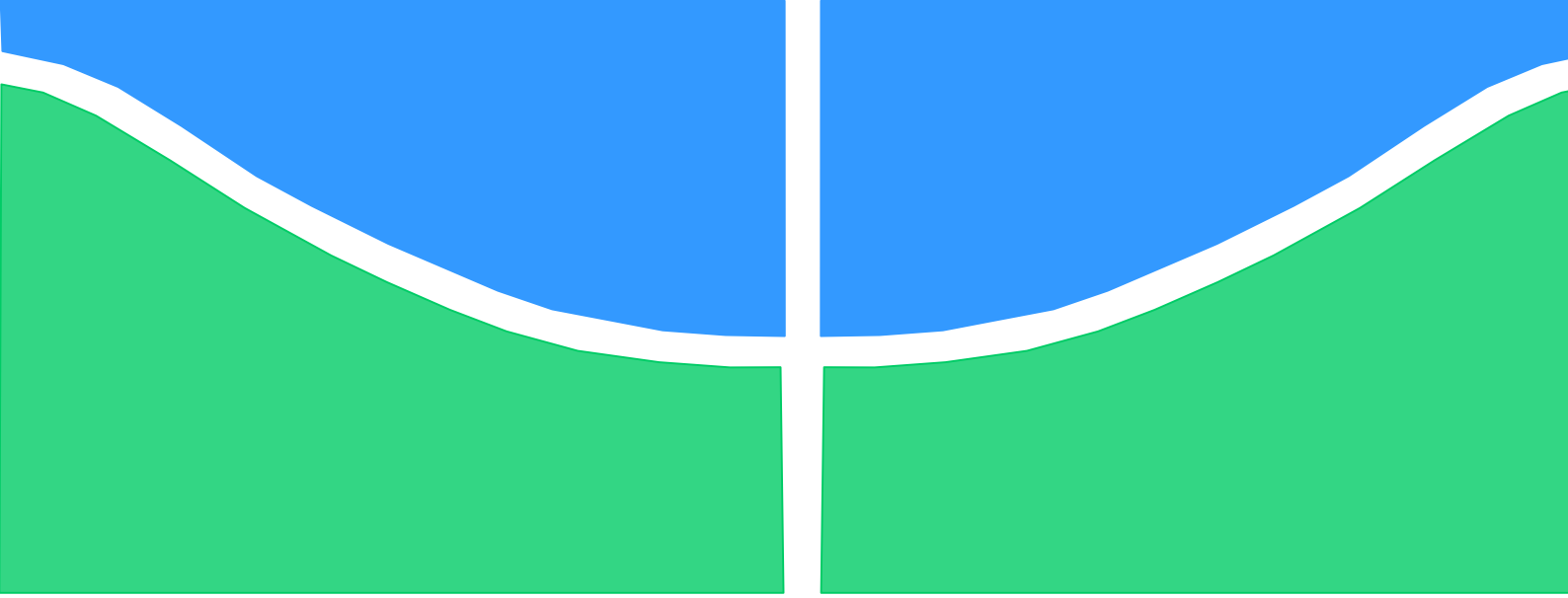

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade de Tecnologia - FT

Engenharia Civil

Capacidade de Tráfego Ferroviário: Uma Comparação Entre Resultados Obtidos por Diferentes Metodologias.

Autor: Thiago de Oliveira Victorino

Orientador: José Matsuo Shimoishi

Coorientador: Gilson Gonçalves de Matos

Brasília, DF

2017

Thiago de Oliveira Victorino

Capacidade de Tráfego Ferroviário: Uma Comparação Entre Resultados Obtidos por Diferentes Metodologias.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: PhD. José Matsuo Shimoishi

Coorientador: Mestre Gilson Gonçalves de Matos

Brasília, DF
2017

CIP - Catalogação Internacional da Publicação

Thiago de Oliveira Victorino
Capacidade de Tráfego Ferroviária: Uma Comparação Entre Resultados Obtidos por Diferentes Metodologias. / Thiago de Oliveira Victorino. Brasília: UnB, 2017. 89 p.: il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) - Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2017. Orientação: José Matsuo Shimoishi. Coorientação: Gilson Gonçalves de Matos.

1. Capacidade de Tráfego. 2. Ferrovia. 3. Corredores Logísticos I. Matsuo, José. II. Capacidade de Tráfego Ferroviária.

CDU Classificação

Thiago de Oliveira Victorino

Capacidade de Tráfego Ferroviária: Uma Comparação Entre Resultados Obtidos por Diferentes Metodologias.

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia - FT, da Universidade de Brasília, em 23/11/2017 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Doutor: José Matsuo Shimoishi, UnB/ FT
Orientador

Prof. Mestre: Gilson Gonçalves de Matos, ANTT
Coorientador

Prof. Doutora: Michelle Andrade, UnB/ FT
Membro Convidado

Prof. Doutora: Fabiana Serra de Arruda, UnB/ FT
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

Dedico este trabalho a todos os familiares e amigos que, de alguma forma, me apoiaram nesse desafio que se conclui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família pelo incondicional apoio, não só durante o projeto final, mas em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao meu Coorientador Gilson Matos por abraçar meu projeto final e esse tema pouco comentado, mas de extrema importância no setor de infraestrutura brasileira. Agradeço, ainda, pelo apoio em todos os momentos, por todas as oportunidades e todas as portas que me foram abertas graças a você e toda a equipe da Gerência de Regulação e Outorgas Ferroviárias - GEROF.

Agradeço ao meu orientador, José Matsuo, pelas instruções dispendidas durante a execução desse trabalho.

Agradeço também aos membros da banca, Eliezé, Fabiana e Michele, cujas sugestões foram de grande valia para o aprimoramento da versão final do presente trabalho.

Agradeço, ainda, aos demais membros da GEROF - Antônio Sérgio, Gilberto, Josineide, Larissa, Leonardo, Marcelo, Marcus, Sonia, Suellen, Thaís e à toda Superintendência de Infraestrutura e Serviços de Transporte Ferroviário de Cargas - SUFER na pessoa do superintendente Alexandre Porto - pela oportunidade que me foi oferecida e por todo o aprendizado durante minha passagem na Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT.

Agradeço aos meus amigos de infância, presentes em todos os momentos importantes da minha vida e não seria diferente agora.

Agradeço aos amigos que fiz durante minha passagem pela UnB e a todos os outros que conheci ao longo dessa caminhada.

Não há assunto tão velho que não possa ser dito algo de novo sobre ele.

Fiódor Dostoievski

RESUMO

A entrada de novos projetos como a Ferrovia Norte Sul e a Ferrogrão, além da publicação da Lei nº 13.448, que trata da prorrogação e relicitação dos contratos ferroviários marca a volta do setor ferroviário aos holofotes do interesse público, evidenciando a necessidade que o setor possui de investigações sobre a atual condição das malhas ferroviárias. Ainda, a partir do novo marco regulatório de 2011, o estudo de capacidade ganhou destaque no cenário nacional, uma vez que a capacidade de tráfego excedente/não utilizada em uma malha ferroviária passa a ser ofertada ao mercado. Dessa forma, o estudo sobre a capacidade de tráfego torna-se essencial para a malha ferroviária brasileira, sobretudo nos denominados gargalos de operação. No entanto, identificar a capacidade de tráfego de uma linha ferroviária e sua consequente ocupação percentual é um grande desafio, principalmente pela quantidade de parâmetros e elementos levados em consideração durante todo o processo de cálculo. Diante desse contexto, a presente monografia realizou uma avaliação comparativa entre os resultados obtidos a partir das diferentes metodologias de cálculo de capacidade de transporte ferroviário da literatura internacional com os valores de capacidade obtidos através da metodologia adotada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, com vistas a verificar se os resultados obtidos pela Agência estão aderentes à literatura técnica do setor, bem como a eventual necessidade de ajustes na metodologia ora adotada. Fez-se, assim, em primeiro momento, um levantamento dos principais métodos de medição de capacidade de tráfego ferroviário a partir de uma revisão bibliográfica. Com as metodologias enumeradas e as hipóteses a serem adotadas para a aplicação de cada uma delas definidas, calculou-se a capacidade de tráfego ferroviário, a partir das seis diferentes metodologias listadas nesta monografia, em três corredores logísticos utilizados para o escoamento da produção brasileira. Por fim, fez-se uma avaliação estatística dos resultados encontrados.

Palavras-Chaves: Capacidade de Tráfego, Ferrovia, Corredores Logísticos.

ABSTRACT

The surfacing of new railroad projects, such as Ferrovia Norte Sul and Ferrogrão and the publication of the law number 13.448, that deals with anticipated extension and bidding of railway concession contracts marks the return of railways to the government programs' spotlight, as it becomes clear the need of investigation of today's railroad condition. Furthermore, the 2011 regulatory framework gave the railway industry and the study of railway capacity a new importance as the surplus/unused capacity by the companies will be proffered in the open market. So, the study of railway capacity, specially the line bottlenecks becomes essential. Yet, identifying the railway capacity of a given line and its percentage occupation in order to find the operational bottlenecks is a defying task as the number of parameters and elements taken into account are countless through the hole calculation process. Thus, this study carried out a comparative evaluation between the results given by different railway capacity calculation methodologies taken from the international literature with the obtained capacity and occupation values through the adopted methodology by the National Agency of Land Transport - ANTT in order to verify if the indicated values by the Agency connect, somehow, with those given by the international literature as well as verify the need of changes and adjustments in Agency's methodology. Firstly, it was made a research in order to find the main railway capacity calculation methodologies through referential bibliography. With the methodologies chosen and the calculation hypotheses to every methodology established, it was possible to calculate the railway capacity and its percentage occupation in three different logistic corridors of major importance. At last, it was made a statistical evaluation of the obtained results.

Key-Words: Railway, Traffic Capacity, Logistic Corridors.

SUMÁRIO

RESUMO ..... **VIII**
ABSTRACT ..... **IX**
LISTA DE ILUSTRAÇÕES ..... **XII**
LISTA DE TABELAS ..... **XV**
LISTA DE SIGLAS ..... **XVII**
LISTA DE SÍMBOLOS ..... **XVIII**
1 INTRODUÇÃO **1**
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS 1
1.2 PROBLEMA 2
1.3 OBJETIVO 2
1.4 METODOLOGIA 3
1.5 ESTRUTURA DO PROJETO FINAL 3
2 CONTEXTO FERROVIÁRIO BRASILIERO **5**
2.1 HISTÓRICO FERROVIÁRIO BRASILEIRO 7
2.2 MATRIZ DE TRANSPORTE 11
2.3 CAPACIDADE DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO 12
2.4 PARÂMETROS ESTRUTURAIS 14
2.5 PARÂMETROS DE TRÁFEGO 15
2.6 PARÂMETROS OPERACIONAIS 17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SETOR FERROVIÁRIO **18**
3.1 METODOLOGIA UIC - 406R 19
3.2 METODOLOGIA DE COLSON 25
3.2.1 ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA DE COLSON PELA ANTT *26*
3.3 METODOLOGIA UIC - 405R 28
3.4 METODOLOGIA PROPOSTA PELO TRANSPORTATION RESEARCH FORUM 29
3.5 METODOLOGIA GRÁFICA DE MEDIÇÃO DE CAPACIDADE DE TRÁFEGO UNIFORME 30
3.6 METODOLOGIA RENFE - *RED NACIONAL DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES* 33
4 ESTUDO DE CASO **35**
4.1 ANTT E A ANÁLISE DE CAPACIADE DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO 35
4.2 HISTÓRICO DAS FERROVIAS 36
4.2.1 RUMO MALHA NORTE - RMN *36*
4.2.2 FERROVIA RUMO MALHA PAULISTA - RMP *38*
4.2.3 FERROVIA CENTRO-ATLÂNTICA - FCA *40*
4.2.4 HISTÓRICO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS - EFC *42*

4.3 CÁLCULO DO NÚMERO DE TRENS QUE PERCORREM OS TRECHOS ENTRE PÁTIOS DE CRUZAMENTO 44
4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA UIC - 406R 45
4.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE COLSON 46
4.6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA UIC - 405R 47
4.7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PELA RENFE 48
4.8 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PELA TRF 48
4.9 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GRÁFICA DE MEDIÇÃO DE CAPCIDADE DE TRÁFEGO UNIFORME 49
5 ANÁLISE GERAL DE RESULTADOS 50
5.1 ANÁLISE DO CORREDOR RONDONÓPOLIS-SANTOS 50
5.2 ANÁLISE DO CORREDOR RIBEIRÃO PRETO - UBERABA 52
5.3 ANÁLISE DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS 53
6 ADERÊNCIA ESTATÍSTICA 55
6.1 ANÁLISE DESCRITIVA 55
6.2 TESTES DE HIPÓTESE 60
6.2.1 TESTE PARAMÉTRICO T PAREADO 61
6.2.2 TESTE NÃO PARAMÉTRICO DE MANN-WHITNEY PAREADO 62
6.2.3 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS 63
7 CONCLUSÃO E SUGESTÕES 65
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67
ANEXO A 70
CRITÉRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO SCORE CORRESPONDENTE AO K2 70
ANEXO B 72
DETALHAMENTO E VARIÁVEIS RELEVANTES DAS CONCESSÕES FERROVIÁRIAS 72
ANEXO C 81
RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS 81

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Gráfico de Relação entre Extensão da Malha Ferroviária e Área Territorial (CIA, 2014) - adaptado 7

Figura 2.2: Evolução do Modal Ferroviário Brasileiro (CNT, 2013) 8

Figura 2.3: Mapa do Subsistema Ferroviário Brasileiro (ANTT, 2017) 10

Figura 2.4: Divisão Modal do Transporte de Cargas em 2015 (EPL, 2015) 11

Figura 2.5: Participação, por Concessionária, no Transporte de Cargas (SAFF, 2017) - adaptado 12

Figura 2.6: Matriz do Transporte Ferroviário em 2016, por Mercadoria (SAFF, 2017) - adaptado 12

Figura 2.7: Relação entre Capacidade Prática e Confiabilidade (KRUEGER, 1999) - adaptada 13

Figura 2.8: Balanço de Fatores que Influenciam a Capacidade de Tráfego (UIC, 2013) - adaptada 14

Figura 2.9: Velocidade Média de Operação em Transporte de Cargas no Brasil (SAFF, 2017) 16

Figura 2.10: Velocidade Média de Operação em Transporte de Carga nas Ferrovias Norte Americanas (CASAVANT e PRATER, 2008) - (UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2010). 17

Figura 3.1: *Timetable* não Comprimida (UIC, 2013) 20

Figura 3.2: *Timetable* Comprimida (UIC, 2013) 21

Figura 3.3: Representação da Ocupação da Seção por um Trem (UIC, 2013) - adaptada 21

Figura 3.4: Determinação do Consumo de Capacidade (UIC, 2013) - adaptada 22

Figura 3.5: Exemplo de Adição de Trem Antieconômica (KHADEM SAMENI, LANDEX e PRESTON, 2011) 24

Figura 3.6: Representação Gráfica da Operação de Trens. Na Letra a) em linha Singela e na letra b) em linha dupla (CICAK, 2004) 32

Figura 4.1: Produtos Transportados em 2016 pela RMN (SAFF, 2017) - adaptado 37

Figura 4.2: Ferrovia Rumo Malha Norte (SAFF, 2017) 38

Figura 4.3: Produtos Transportados em 2016 pela RMP (SAFF, 2017) - adaptado 39

Figura 4.4: Ferrovia Rumo Malha Paulista (SAFF, 2017) 40

Figura 4.5: Produtos Transportados em 2016 no Corredor Uberaba - Ribeirão Preto (SAFF, 2017) - adaptado 41

Figura 4.6: Ferrovia Centro-Atlântica (SAFF, 2017) 42

Figura 4.7: Produtos Transportados em 2016 pela EFC (SAFF, 2017) - adaptado 43

Figura 4.8: Ferrovia Estrada de Ferro Carajás (SAFF, 2017) 44

Figura 6.1: *Box Plot* das Ocupações Resultantes da Rumo Malha Norte 56

Figura 6.2: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes da Rumo Malha Norte 56

Figura 6.3: *Box Plot* das Ocupações Resultantes da Rumo Malha Paulista 57

Figura 6.4: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes da Rumo Malha Paulista 57

Figura 6.5: *Box Plot* das Ocupações Resultantes do Corredor Uberaba - Ribeirão Preto 58

Figura 6.6: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes do Corredor Uberaba - Ribeirão Preto 58

Figura 6.7: *Box Plot* das Ocupações Resultantes da Estrada de Ferro Carajás 59

Figura 6.8: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes da Estrada de Ferro Carajás 59

Figura 6.9: Intervalo de Rejeição para o Teste de Hipótese 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Ranking Mundial de Extensão Ferroviária (CIA, 2014) 6

Tabela 2.2: Resumo e Informações Relevantes Sobre Cada Concessão em 2016 (SAFF, 2017) - adaptado 9

Tabela 3.1: Faixas e Limites Percentuais de Ocupação de Via (UIC, 2013) - adaptada 19

Tabela 3.2: Comparação Entre Manuais de Análise de Capacidade Ferroviária e Rodoviária (KHADEM SAMENI, LANDEX e PRESTON, 2011) -adaptado 23

Tabela 4.1: Scores individuais e finais para os critérios utilizados, sistemas de sinalização e índices de gestão dos recursos operacionais K2, por concessionária 47

Tabela 5.1: Trechos Entre Pátios Considerados Saturados no Corredor Rondonópolis - Santos 52

Tabela 5.2: Trechos Entre Pátios Considerados Saturados no Corredor Ribeirão Preto - Uberaba da Ferrovia Centro-Atlântica 53

Tabela 5.3: Ocupação Viária de Todos os Entre Pátios Estrada de Ferro Carajás 54

Tabela 6.1: p-valores Obtidos a Partir do Teste T 62

Tabela 6.2: p-valores Obtidos a Partir do Teste Mann-Whitney 63

Tabela 8.1: Seções Entre Pátios e Variáveis Relevantes do Corredor Rondonópolis Santos .. 72

Tabela 8.2: Seções Entre Pátios e Variáveis Relevantes do Corredor Uberaba - Ribeirão Preto da FCA 79

Tabela 8.3: Seções Entre Pátios e Variáveis Relevantes da Estrada de Ferro Carajás 80

Tabela 8.4: Resultados da Aplicação de Metodologias ao Corredor Rondonópolis - Santos .. 81

Tabela 8.5: Resultados da Aplicação de Metodologias ao Corredor Ribeirão Preto - Uberaba (FCA).....88

Tabela 8.6: Resultados da Aplicação de Metodologias para a Estrada de Ferro Carajás.....89

LISTA DE SIGLAS

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

CIA - Central Americana de Inteligência

RFFSA - Rede Ferroviária

FEPASA - Ferrovia Paulista

RMN - Rumo Malha Norte

RMO - Rumo Malha Oeste

RMP - Rumo Malha Paulista

RMS - Rumo Malha Sul

EFC - Estrada de Ferro Carajás

EFVM - Estrada de Ferro Vitória Minas

FCA - Ferrovia Centro - Atlântica

FNSTS - Ferrovia Norte Sul Tramo Sul

FNSTN - Ferrovia Norte Sul Tramo Norte

FERROESTE - Estrada de Ferro Paraná Oeste

FTC - Ferrovia Tereza Cristina

FTL - Ferrovia Transnordestina

EPL - Empresa de Planejamento e Logística

UIC - *Union Internationale des Chemin de Fer.*

SAFF - Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário

ABS - Automatic Block System

CTC - Sistema de Controle de Tráfego Centralizado

CCO - Centro de Controle de Operações

TU - Tonelada Útil

TKU - Tonelada Quilômetro Útil

TRF - Transportation Research Forum

FERROBAN - Ferrovia Bandeirantes

ALL - América Latina Logística.

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Capacidade em Número de Trens;
A	Tempo de Ocupação de Infraestrutura;
B	*Buffer Time;*
L	Tempo adicional para linhas singelas;
Cap	Capacidade consumida;
D	Tempo adicional para linhas duplas;
d	Distância entre estações consecutivas;
H_n	*Headway;*
k	Tempo total consumido;
K	Coeficiente de eficiência;
K1	Índice de eficiência da ferrovia referente à disponibilidade de via permanente;
K2	Índice de eficiência da ferrovia referente à gestão de recursos operacionais;
L_b	Distância entre pátios;
L_t	Extensão do trem;
N_s	Número de seções de bloqueio entre pátios;
ta	*Headway* mínimo;
tb	Margem de expansão que leva em consideração possíveis atrasos na operação da malha;
tc	Tempo adicional baseado no número de seções de bloqueio entre pátios;
ti	Tempo ímpar;
tp	Tempo par;
T_{pg}	Período do gráfico;
T_{vp}	Tempo de via parada/interditada para manutenção;
U	Janela de tempo;
V	Velocidade (km/h);
α_{ps}	Coeficiente de confiabilidade na operação;
θ	Tempo de licenciamento;
λ	Taxa de chegada de trens ao pátio de cruzamento;
μ	Taxa de atendimento;
ρ	Parâmetro de Formação de Filas;

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS

Com a publicação da Lei nº 13.448, de 5 de junho de 2017, que estabelece diretrizes gerais para prorrogação e relicitação dos contratos de concessão ferroviários, juntamente com novos projetos, como o Tramo Sul da Ferrovia Norte Sul e a Ferrogrão, o setor ferroviário volta aos holofotes dos planos de governo.

Importante destacar que nos últimos anos, sobretudo através dos setores rodoviário e ferroviário, foi possível escoar a produção agrícola brasileira que, apesar do cenário econômico desfavorável, com vários setores em franco declínio, foi uma das exceções. No entanto, o crescimento da demanda por transporte de carga não foi acompanhado por inovações e crescimento do setor, de forma que, rodovias, portos e parte das linhas ferroviárias encontram-se saturadas.

Diante desse contexto, torna-se essencial o estudo da capacidade de tráfego ferroviário no cenário brasileiro, de forma que o presente projeto de graduação se propõe a analisar diversas metodologias presentes na literatura técnica do setor aplicadas à malha ferroviária federal.

No que se refere à literatura brasileira, não há referências consolidadas acerca do cálculo de capacidade no período em que as ferrovias eram operadas pela Rede Ferroviária Federal - RFFSA, ou mesmo no período compreendido entre o início do processo de desestatização - ocorrido no final da década de 90, após o advento da Lei nº 8.031/90, consolidando o Programa Nacional de Desestatização - PND - até esta data.

Contudo, após o advento do marco regulatório estabelecido em 2011, sobretudo a Resolução nº 3.695 - Regulamento de Direito de Passagem e Tráfego Mútuo, as concessionárias ferroviárias passam a apresentar anualmente à Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT as Declarações de Rede, as quais possuem informações técnicas e operacionais de toda a malha ferroviária concedida, entre as quais **a capacidade de transporte da rede**, **a capacidade utilizada** e **a capacidade ociosa**, divulgadas sempre para o ano seguinte ao ano de exercício. Essas informações, denominadas inventário de capacidade, sinalizam para o mercado a capacidade de transporte disponível no ano seguinte (capacidade ociosa), a ser contratada pelos diferentes usuários ou por outras concessionárias para transporte em regime de compartilhamento (direito de passagem ou tráfego mútuo), ou seja, quando outras concessionárias visitam determinada malha. Daí a elevada importância dessas informações.

Dessa forma, este projeto final insere-se no contexto de estudo de capacidade de tráfego ferroviário, principalmente com vistas a subsidiar as análises realizadas pela ANTT das informações apresentadas anualmente pelas concessionárias ferroviárias através da Declaração de Rede e propondo, ainda, possíveis alterações.

1.2 PROBLEMA

Atualmente, as concessionárias ferroviárias, devem informar a capacidade de transporte ferroviário de suas respectivas malhas à ANTT, nos termos do Art. 5º da Resolução nº 3.695/2011.

De posse dessas informações, a ANTT tem procedido uma análise/auditoria simplificada dos resultados apresentados pelas concessionárias, através da metodologia de Colson, com algumas adaptações. Contudo, na literatura técnica do setor, sobretudo na literatura nacional, não há avaliações mais aprofundadas sobre a capacidade de tráfego na malha ferroviária nacional.

Diante dessa lacuna, existe a necessidade de se fazer uma avaliação mais abrangente entre a metodologia atualmente adotada pela ANTT e outras metodologias de referência, com vistas a realizar avaliações comparativas entre as mesmas, avaliar a eventual necessidade de ajustes, bem como para aprimorar o trabalho atualmente desenvolvido pela Agência.

1.3 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo realizar uma avaliação comparativa entre os resultados de cálculo de capacidade ferroviária obtidos a partir da metodologia atualmente adotada pela ANTT - metodologia de Colson, com algumas adaptações - com outras metodologias de referência na literatura técnica do setor ferroviário, com vistas a subsidiar o processo de análise e auditoria desempenhado pela ANTT da capacidade de transporte, que é calculada a partir de informações prestadas pelas concessionárias. Para a realização das análises mencionadas, foram escolhidos três corredores logísticos da malha ferroviária brasileira, quais sejam, Estrada de Ferro Carajás, corredor de Rondonópolis ao Porto de Santos e corredor de Uberaba a Ribeirão Preto.

1.4 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo listado, foi realizado um levantamento dos principais métodos de medição de capacidade de tráfego ferroviário, a partir de uma revisão bibliográfica, de forma a elencar pontos que afetam a capacidade de tráfego ferroviário e as informações necessárias a seu cálculo. Com as metodologias enumeradas e as hipóteses a serem adotadas para cada uma delas definidas, a capacidade de tráfego ferroviário foi calculada em corredores da malha brasileira, definidos no Capítulo 4 desta monografia.

Todos os dados relativos aos corredores estudados constam na Tabela 8.1, Tabela 8.2 e Tabela 8.3 e foram obtidos junto à ANTT via ouvidoria e através do Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário - SAFF.

A partir dos resultados obtidos de capacidade de tráfego ferroviário pelas metodologias presentes nesta monografia, foi feita uma análise geral do comportamento dos corredores ferroviários estudados, além da análise dos pontos de saturação desses, evidenciando os problemas existentes nas malhas e cunhando os gargalos logísticos de operação.

Por fim, foi feita uma análise estatística, de forma a avaliar a coerência entre os resultados obtidos pela metodologia atualmente adotada pela ANTT e as demais, bem como a eventual necessidade de adequação da forma de análise e da metodologia atualmente adotada pela ANTT na avaliação da capacidade de tráfego, que atualmente é calculada a partir de informações prestadas pelas concessionárias ferroviárias.

1.5 ESTRUTURA DO PROJETO FINAL

A presente monografia está estruturada em oito capítulos, incluindo esta introdução. O segundo capítulo apresenta uma contextualização do setor ferroviário brasileiro, além de compará-lo ao cenário internacional de transporte de cargas, e apresentar conceitos básicos de capacidade de tráfego ferroviário, essenciais à compreensão dos capítulos posteriores. O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, compreendendo algumas das principais metodologias de cálculo de capacidade ferroviária utilizadas no cenário internacional. O quarto capítulo apresenta os corredores a serem estudados e as hipóteses de cálculo na aplicação das metodologias descritas no Capítulo 3. No quinto capítulo, apresenta-se uma análise prática dos resultados obtidos através das diferentes metodologias, de forma a evidenciar a influência das variáveis de cálculo e possíveis problemas nos corredores em estudo. No sexto capítulo são

apresentados testes de hipótese, com o intuito de avaliar a aderência estatística de cada uma das metodologias em estudo à metodologia adotada pela ANTT. O sétimo capítulo tratará das conclusões desta monografia e das sugestões para trabalhos futuros. Por fim, o oitavo capítulo traz as referências bibliográficas utilizadas neste projeto final.

2 CONTEXTO FERROVIÁRIO BRASILIERO

O Brasil, hoje, encontra-se em décimo lugar no ranking mundial de extensão de malha ferroviária, segundo a Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos - CIA, atrás de países como Argentina, França e Alemanha; países estes que, em área territorial, são consideravelmente menores que o Brasil.

A partir do ranking apresentado na Tabela 2.1, é possível perceber que as principais economias do mundo possuem, via de regra, grandes malhas ferroviárias. Estas também apresentam, em sua maioria, obstáculos climáticos (como a Rússia e o Canadá), populacionais (China e Índia) e território comparativamente menor (Argentina, França e Alemanha), que limitam as opções de transporte de carga e impossibilitam a polarização do transporte em apenas um modal viário. O Brasil, mesmo sendo o quinto maior país em área territorial no mundo, é apenas, como mencionado, o décimo país em extensão ferroviária.

Tabela 2.1: Ranking Mundial de Extensão Ferroviária (CIA, 2014)

Posição	País	km	Posição	País	km
1	Estados Unidos	293,564	**26**	Cuba	8,285
2	China	191,27	**27**	Indonésia	8,159
3	Rússia	87,157	**28**	Hungria	8,049
4	Canadá	77,932	**29**	Coréia do Norte	7,435
5	Índia	68,525	**30**	Chile	7,282
6	Alemanha	43,468	**31**	Sudão	7,251
7	Austrália	36,968	**32**	Finlândia	5,919
8	Argentina	36,917	**33**	Suíça	5,652
9	França	29,64	**34**	Belarus	5,528
10	Brasil	28,538	**35**	Áustria	5,268
11	Japão	27,311	**36**	Bulgária	5,114
12	Ucrânia	21,733	**37**	Egito	5,085
13	África do Sul	20,986	**38**	Myanmar	5,031
14	Itália	20,182	**39**	Moçambique	4,787
15	Polônia	19,837	**40**	Tanzânia	4,567
16	Reino Unido	16,837	**41**	Noruega	4,25
17	Espanha	16,102	**42**	Nova Zelândia	4,128
18	México	15,389	**43**	Tailândia	4,071
19	Cazaquistão	14,184	**44**	República Democrática do Congo	4,007
20	Turquia	12,008	**45**	Algeria	3,973
21	Suécia	11,915	**46**	Servia	3,808
22	Paquistão	11,881	**47**	Nigéria	3,798
23	Romênia	11,268	**48**	Uzbequistão	3,645
24	República Tcheca	9,622	**49**	Eslováquia	3,624
25	Irã	8,484	**50**	Bélgica	3,592

Ainda, de forma a ilustrar a relação existente entre área territorial e extensão ferroviária, apresenta-se a Figura 2.1.

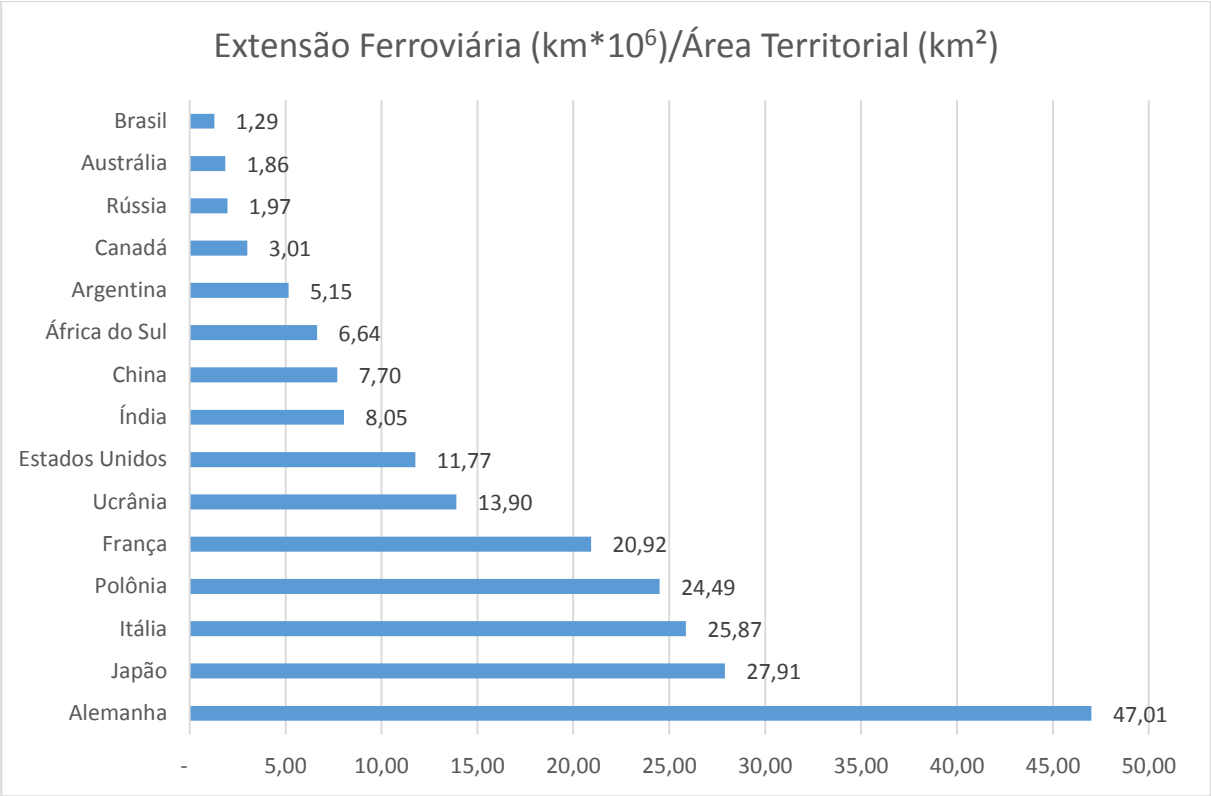

Figura 2.1: Gráfico de Relação entre Extensão da Malha Ferroviária e Área Territorial (CIA, 2014) - adaptado

2.1 HISTÓRICO FERROVIÁRIO BRASILEIRO

O desenvolvimento do modelo de transportes no Brasil foi, acima de tudo, um reflexo do que ocorria, concomitantemente, na Europa. Inicialmente o transporte de cargas e pessoas era realizado quase que exclusivamente de forma marítima. Com os avanços proporcionados pela revolução industrial e o nascimento das primeiras máquinas a vapor, surgiram as primeiras tentativas de se utilizar um veículo impulsionado por este tipo de máquina (a vapor) com o objetivo, principalmente, de transportar carga entre minas (BARAT, 1978) - (BRINA, 1982).

O modelo ferroviário brasileiro desenvolveu-se em três etapas. A primeira ocorreu entre 1852 e 1900, quando as primeiras ferrovias foram construídas e financiadas, via de regra, por capital inglês, atraído por altas taxas de retorno. A segunda etapa aconteceu entre 1901 e 1979 e foi caracterizada pela estatização das ferrovias em uma tentativa de liquidar as dívidas do setor, uma vez que as empresas responsáveis pelas malhas haviam cessado o investimento nessas. Assim, em 1929, o estado era dono de 67% das companhias ferroviárias brasileiras e responsável pela administração de 41% da rede. A fase de estatização das ferrovias ficou conhecida pela criação, em 1957, da Rede Ferroviária Federal S.A. - RFFSA e, em 1971, da

Ferrovia Paulista S.A. - FEPASA. O terceiro e último ciclo foi marcado pelo retorno das ferrovias às mãos do poder privado, através da Lei nº 8.031/90 e suas posteriores alterações, compondo o Programa Nacional de Desestatização - PND (MARTINS e CAIXETA-FILHO, 2001).

A Figura 2.2 ilustra o crescimento ao longo dos anos das estradas de ferro no Brasil, em quilômetros.

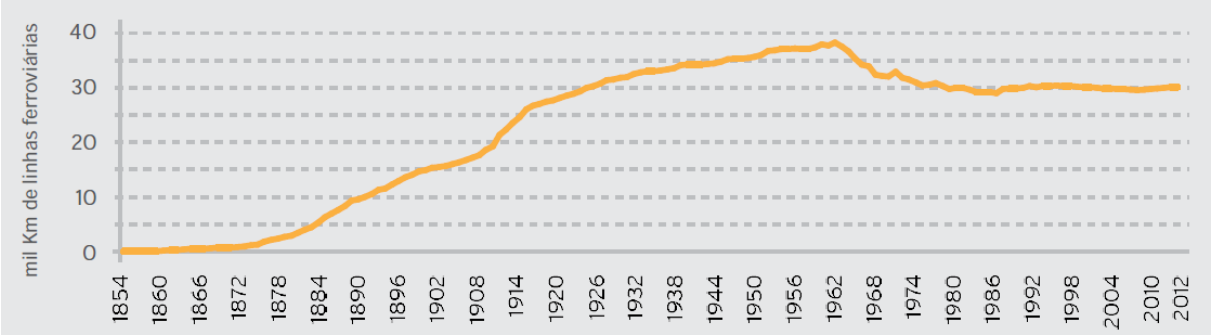

Figura 2.2: Evolução do Modal Ferroviário Brasileiro (CNT, 2013)

O Brasil atingiu, em 1960, o ápice de sua malha ferroviária, com aproximadamente 37.200 quilômetros de extensão. Porém, atualmente, possui apenas cerca de 29 mil quilômetros.

Com o início do PND, em 1992, possibilita-se um processo de reestruturação do setor ferroviário com a abertura do mercado. Este processo levou cerca de sete anos para ser concluído, conforme consta no Relatório Anual de Acompanhamento das Concessões Ferroviárias - à época, o relatório estava a cargo do Ministério dos Transportes. Com a criação da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT em junho de 2001, a fiscalização e acompanhamento, passam a ficar a cargo desta agência. A Tabela 2.2 apresenta as principais informações sobre as concessões existentes.

Tabela 2.2: Resumo e Informações Relevantes Sobre Cada Concessão em 2016 (SAFF, 2017) - adaptado

Concessão	Principais Acionistas	Extensão (km)	Produção (10^9 TKU)	Produção em DP/TM (10^9 TKU)	Acidentes/ milhão de trem km	Velocidade Média de Percurso (km/h)
RMN	RUMO S.A. e FINAM	735,26	10,47	0,72	3,48	13,33
RMO	RUMO S.A.	1.937,12	0,67	0,01	19,37	12,23
RMP	RUMO S.A.	2.043,96	20,42	16,78	16,05	13,53
RMS	RUMO S.A.	7.223,37	11,75	0,03	23,13	14,15
EFC	VALE S.A.	977,97	136,27	4,04	2,97	28,63
EFVM	VALE S.A.	894,22	74,56	0,97	2,66	31,40
EFPO	FERROESTE S.A.	248,10	0,19	0,01	3,01	26,19
FCA	VLI S.A., VALE S.A., BROOKFIELD, MITSUI	7.219,35	11,95	1,00	23,05	21,81
FNSTN	VLI S.A., VALE S.A., BROOKFIELD, MITSUI	744,50	1,79	-	8,05	31,16
FTC	APPLY LTDA., VASONE LTDA.	163,45	0,22	-	18,72	26,44
FTL	CSN, VALEC, BNDES	4.295,14	0,67	0,02	66,39	13,29
MRS	VALE S.A., Minerações Brasileiras Reunidas S.A., CNS, Usiminas S.A., GERDAU S.A	1.685,43	65,65	1,73	6,35	35,82

Fonte: SAFF.

A Figura 2.3 apresenta a distribuição geográfica das referidas concessões.

Figura 2.3: Mapa do Subsistema Ferroviário Brasileiro (ANTT, 2017)

2.2 MATRIZ DE TRANSPORTE

Historicamente, no Brasil, o meio de transporte predominante é o rodoviário. Este representa cerca de 65% (em tonelada quilômetro útil) do transporte total de carga no país, enquanto as ferrovias possuem aproximadamente 15% deste. A Figura 2.4 apresenta a divisão modal, de forma detalhada (EPL, 2015).

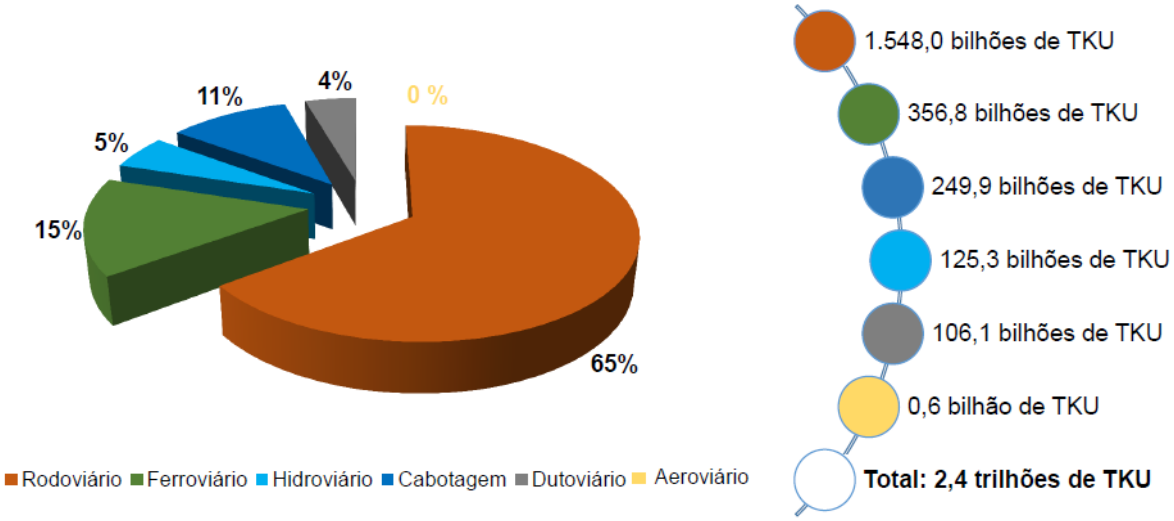

Figura 2.4: Divisão Modal do Transporte de Cargas em 2015 (EPL, 2015)

Para o crescimento da rede logística e avanços na economia do Brasil, é essencial que a rede de transporte deixe de ser polarizada e, nos próximos anos, passe a ser equilibrada. Com isso em mente, o crescimento do modal ferroviário e o estudo de capacidade para este modal tornam-se fundamentais.

A polarização do sistema logístico se dá, ainda, no próprio setor ferroviário, onde três concessionárias transportam cerca de 80% de todo o volume de transporte em Tonelada Quilômetro Útil - TKU. Ademais, cerca de 77% de toda a carga transportada por ferrovia no Brasil é minério de ferro.

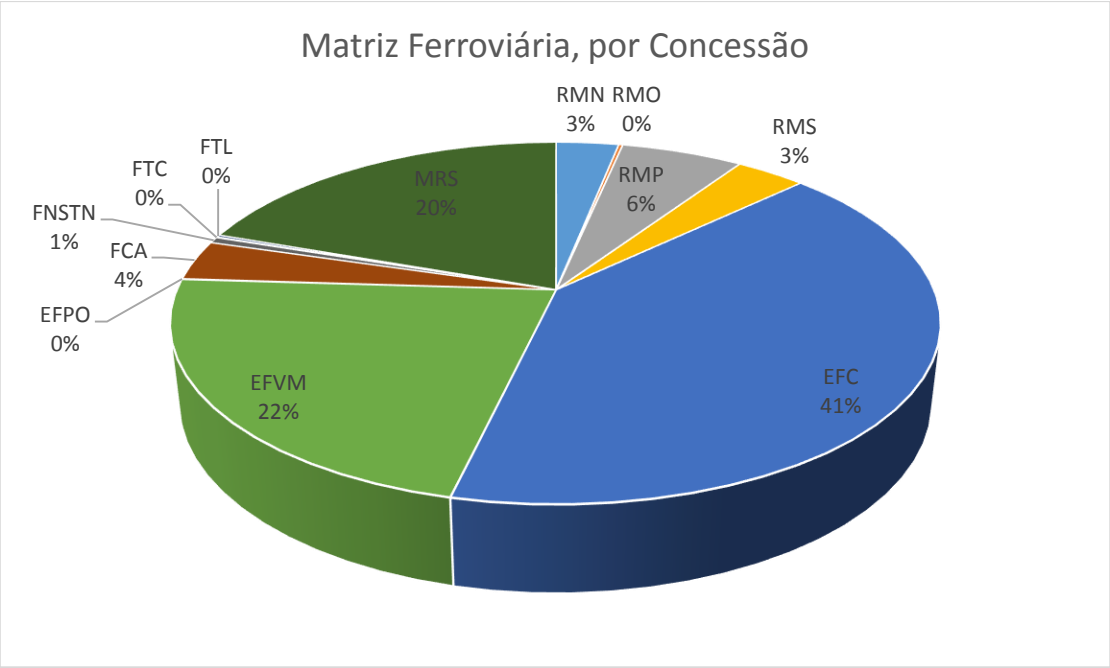

Figura 2.5: Participação, por Concessionária, no Transporte de Cargas (SAFF, 2017) - adaptado

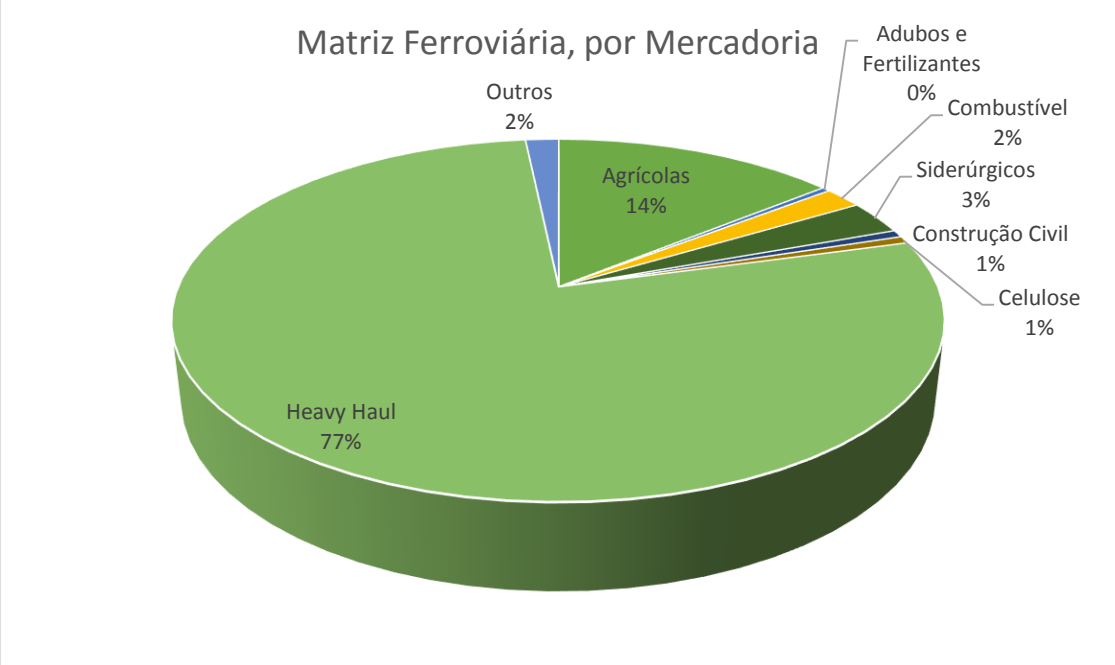

Figura 2.6: Matriz do Transporte Ferroviário em 2016, por Mercadoria (SAFF, 2017) - adaptado

2.3 CAPACIDADE DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO

Usualmente, capacidade de tráfego ferroviário é definida como o número máximo de trens que percorre a infraestrutura da via em um intervalo de tempo definido (normalmente, 24 horas). A capacidade de tráfego é afetada por uma série de fatores previsíveis e imprevisíveis, que variam de ferrovia para ferrovia.

Porém, capacidade é um conceito elusivo, que não é facilmente definido e quantificado. A própria *Union Internationale des Chemin de Fer* - UIC afirma que capacidade, como tal, não existe, dependendo esta da infraestrutura ferroviária e da forma como ela é utilizada (tradução livre). A principal dificuldade é elencar os fatores que afetam a capacidade de tráfego ferroviário. Dessa forma, apresentam-se duas óticas distintas em relação à capacidade (UIC, 2013).

A primeira delas, a capacidade absoluta/teórica, refere-se a um valor teórico, analisado sob condições perfeitas de operação e tráfego que, normalmente, não corresponde à realidade, tratando-se de uma superestimação. Esse tipo de capacidade assume que o tráfego é homogêneo, com todos os trens idênticos, andando à mesma velocidade e sem interrupções (ABRIL, *et al.*, 2006).

A segunda, a capacidade prática, incorpora atrasos, ineficiências e fatores aleatórios de forma a quantificar a capacidade sob uma ótica mais realista. Essa mede a capacidade representativa com certo nível de confiabilidade, e representa 60 a 75% da capacidade teórica e é o objeto de estudo da presente monografia (ABRIL, *et al.*, 2006). A Figura 2.7 ilustra de forma didática os conceitos de capacidade absoluta/teórica e capacidade prática.

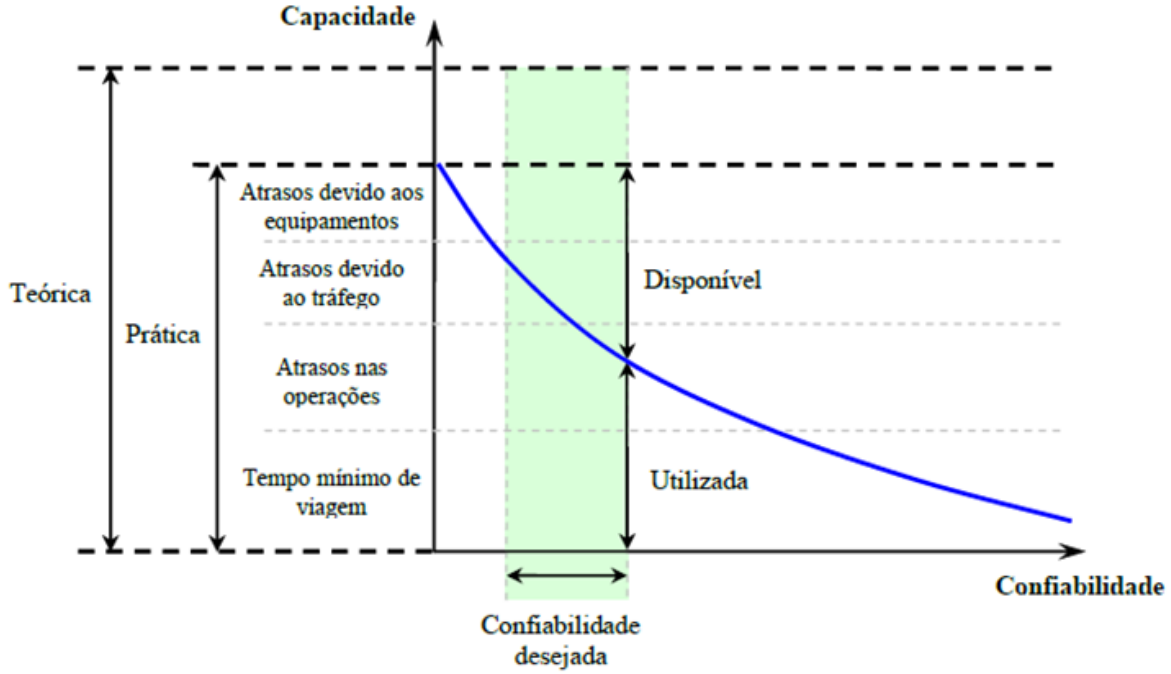

Figura 2.7: Relação entre Capacidade Prática e Confiabilidade (KRUEGER, 1999) - adaptada

Ademais, capacidade de tráfego não é um valor único no cenário ferroviário. Diferentes parâmetros de via, tráfego ou operação podem alterar de forma significativa a capacidade. Consequentemente, uma análise de capacidade, de forma a quantificá-la, traz informações sobre a utilização da via e, principalmente, se a infraestrutura consegue performar sua demanda,

mantendo um nível de serviço adequado. A Figura 2.8, recorrente em estudos do setor ferroviário, apresenta o balanço de capacidade a partir das considerações feitas pela UIC (UIC, 2013).

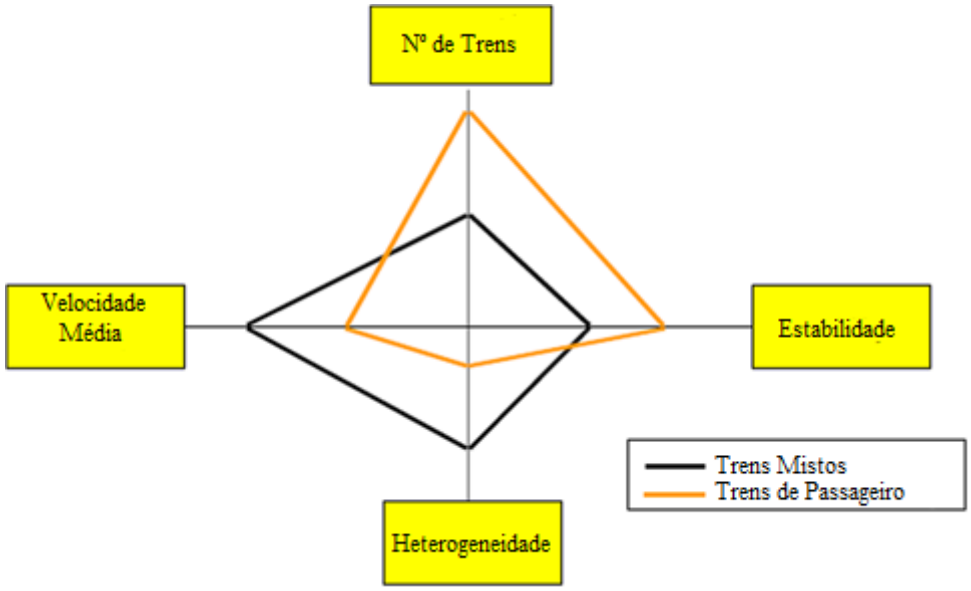

Figura 2.8: Balanço de Fatores que Influenciam a Capacidade de Tráfego (UIC, 2013) - adaptada

Com o crescimento da demanda por transporte no Brasil, ferrovias brasileiras passaram a ser afetadas por restrições de capacidade, dada a saturação da infraestrutura. Além disso, o crescimento de outros modais de transporte não foi capaz de suportar tal movimento de demanda. Assim, torna-se essencial o gerenciamento de capacidade por parte das concessionárias, visando o controle de produção interno. Além disso, por parte da Agência Reguladora, faz-se necessário o acompanhamento dessa capacidade, com vistas à orientação dos processos de fiscalização, à redução da assimetria de informações, à avaliação dos gargalos logísticos, etc.

Assim como mencionado anteriormente, a etapa mais difícil da quantificação da capacidade de tráfego é a enumeração dos fatores que impactam a operação ferroviária. A seguir, os principais fatores que influenciam capacidade de tráfego serão indicados. De forma a simplificar a análise, esses fatores serão divididos em três categorias, listadas a seguir: Parâmetros Estruturais; Parâmetros de Tráfego; e Parâmetros Operacionais.

2.4 PARÂMETROS ESTRUTURAIS

Parâmetros estruturais referem-se a todos os fatores de influência em uma linha férrea diretamente ligados à infraestrutura e à via permanente.

O primeiro, e mais evidente, é a extensão do trecho entre pátios ou entre seções de bloqueio, visto que o modelo operacional brasileiro opera com um trem por seção de bloqueio, exceto em algumas concessões (EFC, EFVM e MRS). Quanto maiores as distâncias entre pátios ou entre seções de bloqueio, menor a eficiência da ferrovia e menor sua capacidade de tráfego (LAI e BARKEN, 2009) - (BRINA, 1982).

Os pátios de cruzamento são locais em que é possível o encontro entre trens, seja para a ultrapassagem, seja para a liberação de via para dois trens trafegando em sentidos contrários; de forma que quanto maior o número de pátios de cruzamento, maior a eficiência da ferrovia e maior a capacidade de tráfego dela. Além disso, é importante que esses pontos estejam espaçados de forma uniforme dentro da malha, evitando atrasos (LAI e BARKEN, 2009) - (LAI, 2008).

A sinalização intermediária adequada em curtos intervalos diminui a distância entre trens adjacentes, aumentando a capacidade da linha. Além disso, ferrovias com sistemas automatizados de sinalização possuem capacidade de tráfego e eficiência maior que ferrovias com sistemas manuais de sinalização e comunicação (ZHAO, 2013).

Finalmente, a quantidade de linhas duplas na via. A adição de uma segunda linha à malha existente impacta de forma excepcional a capacidade de tráfego, visto que os pontos de *meet and pass* tornam-se pontos de troca de linha. Além disso, abre-se uma grande quantidade de possibilidades operacionais, quando comparadas com as ferrovias de linha singela (LAI e BARKEN, 2009).

2.5 PARÂMETROS DE TRÁFEGO

Parâmetros de tráfego referem-se a condições independentes de infraestrutura e independentes de opções operacionais. Relacionam-se com o *timetable* da ferrovia e a programação de horários de saída e chegada de trens (LAI e BARKEN, 2009).

O fator de pico, por exemplo, representa a concentração de tráfego em um curto período de tempo. Comum em ferrovias com elevado transporte de passageiros, este causa atrasos pela grande quantidade de trens trafegando de forma simultânea. Este fator, no Brasil, não é impactante (PACHL e WHITE, 2004), principalmente porque quase a totalidade do transporte ferroviário no Brasil é dedicado a cargas, e não a passageiros.

Um dos fatores mais importantes, principalmente no transporte de cargas, é a prioridade de trens, poucas vezes levado em consideração em métodos analíticos. A priorização de um

trem sobre outro causa atrasos em toda a linha. O motivo disso é que os trens de alta prioridade trafegam na via como se essa estivesse livre, enquanto trens de baixa prioridade devem aguardar a passagem dos trens prioritários, causando atrasos sistemáticos e graduais em toda a linha (LAI e BARKEN, 2009).

Além disso, a heterogeneidade de trens diminui, de forma significativa, a capacidade de tráfego da linha (DINGLER, LAI e BARKER, 2009).

Por último, velocidade média de operação (BRINA, 1982). A velocidade média de operação no Brasil é de 21,78 km/h, segundo o Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário - SAFF, velocidade esta relativamente baixa quando comparada ao resto do mundo. A Figura 2.9 apresenta a velocidade média de operação, em quilômetros por hora, do transporte de cargas no Brasil a partir de 2006.

Figura 2.9: Velocidade Média de Operação em Transporte de Cargas no Brasil (SAFF, 2017)

Com o aumento da importância e da demanda por transporte ferroviário, as estradas de ferro nacionais passam a ter um papel relevante no transporte de cargas e, por consequência, passam a operar com um número de trens cada vez maior e uma taxa de ocupação de via cada vez maior. Em virtude disso, congestionamentos em pátios de cruzamentos, tempos elevados de carga e descarga e trens cada vez maiores diminuem a velocidade de operação de um sistema ferroviário em que praticamente não se vê inovação e com baixa expansão de capacidade ao longo dos últimos anos. São essas as razões do comportamento de queda da velocidade verificado ao longo do tempo, conforme ilustra aFigura 2.9.

A título de ilustração, a Figura 2.10 apresenta a média de velocidade das ferrovias norte americanas, em quilômetros por hora, onde o transporte ferroviário possui elevada importância na matriz de transportes.

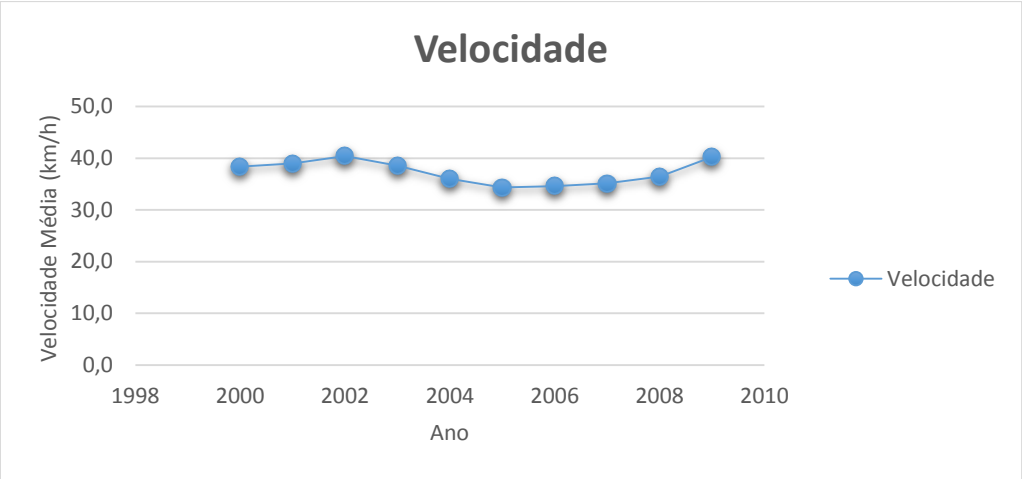

Figura 2.10: Velocidade Média de Operação em Transporte de Carga nas Ferrovias Norte Americanas (CASAVANT e PRATER, 2008) - (UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2010).

2.6 PARÂMETROS OPERACIONAIS

Os parâmetros operacionais referem-se a duas situações específicas.

A primeira delas, as paralizações de via permanente. Fazem parte desta categoria as paralizações planejadas (manutenção e obras na via) e não planejadas (acidentes) em via permanente (LAI e BARKEN, 2009) - (BRINA, 1982).

O segundo é a redução mandatória de velocidade por um determinado intervalo de tempo. Normalmente tem relação com acidentes ou manutenção de via, causando atrasos pela baixa velocidade de operação (LAI e BARKEN, 2009).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SETOR FERROVIÁRIO

De forma geral, existem três tipos de quantificação/medição de capacidade na literatura do setor ferroviário. São eles os métodos analíticos, de otimização e de simulação.

Os métodos analíticos são, em geral, mais simples e utilizam equações matemáticas para definir capacidade teórica de uma linha férrea (MITRA, *et al.*, 2010). A capacidade prática é definida como uma porcentagem do valor encontrado através dos métodos analíticos. Os resultados dependem fortemente do método utilizado e do nível de complexidade da operação na malha ferroviária em questão, além dos parâmetros considerados no método. Um exemplo de utilização do método analítico de medição de capacidade é a abordagem adotada pela ANTT, que utiliza a metodologia de Colson - a qual leva em consideração paralizações planejadas e não planejadas na malha e a sinalização da via, além dos tempos de trânsito entre duas estações e tempo de licenciamento -, com algumas adaptações.

Os métodos de otimização foram criados com o objetivo de prover análises mais estratégicas para a solução da medição de capacidade de tráfego ferroviário. Estes são baseados na obtenção de cenários de saturação da malha e os impactos dessa saturação na operação ferroviária. As análises são feitas, usualmente, por programação matemática - *Mixed Integer Linear Programming Formulations and Enumerative algorithms* (MITRA, *et al.*, 2010).

O último, porém, não menos importante, é o método de simulação. Ele é uma representação dinâmica do comportamento operacional de uma ferrovia. Esse método, quando aliado aos métodos analíticos e de otimização, fornece um modelo verossímil e confiável (SCHNEIDER, *et al.*, 2003).

Em suma, os métodos analíticos são bons para análises comparativas e não muito profundas, além de serem um bom ponto de partida para análises otimizadas. Os métodos de otimização e simulação precisam ser adaptados a cada cenário e, os três, em conjunto, apresentam uma boa metodologia para o gerenciamento de capacidade. Em primeiro nível, define-se uma solução preliminar para o problema de capacidade e o segundo fornece uma agenda de operação. Esta agenda pode ser validada com a simulação.

A seguir, são apresentadas algumas das principais metodologias utilizadas para fins de cálculo de capacidade ferroviária.

3.1 METODOLOGIA UIC - 406R

Diferentemente do Brasil, a pesquisa em capacidade de tráfego ferroviário tem uma longa tradição na Europa. A base teórica para as pesquisas foi construída entre os anos de 1960 e 70, fundamentando-se em estudos dos anos pós-guerra. Surgiram, então, ferramentas computacionais que possibilitaram análises mais detalhadas e, posteriormente, simulações. Porém, por muitos anos, não houve troca de informações entre os países que encabeçaram os estudos; artigos e pesquisas eram publicados apenas na língua nativa do país e raramente eram traduzidos. Com a reforma do sistema ferroviário europeu na década de 1990, o cenário tornou-se outro. A introdução do livre acesso às linhas europeias e a criação de corredores internacionais tornou essencial a criação de um método geral de medição de capacidade. A metodologia UIC 406R tem por objetivo suprir tal necessidade.

Um dos conceitos mais importantes que esta metodologia propõe é que capacidade, como tal, não existe. A capacidade de tráfego de uma infraestrutura depende da forma como ela é utilizada (UIC, 2013).

Importante ressaltar que essa não é, propriamente, uma metodologia analítica; esta mede o nível de ocupação da via, em porcentagem. A UIC não tem por objetivo medir a capacidade por questões de planejamento de infraestrutura, mas por questões de planejamento e gerenciamento de trajetos através da análise dos trechos críticos da via. A questão central da metodologia proposta pela UIC é se será possível adicionar trens à linha, sem que esta exceda os limites de nível adequado de serviço. Os limites de utilização de vias são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Faixas e Limites Percentuais de Ocupação de Via (UIC, 2013) - adaptada

Tipo de Linha	Horário de Pico	Operação Diária
Tráfego urbano exclusivo de passageiros	85%	70%
Linhas exclusivas de alta velocidade	75%	60%
Operação mista	75%	60%

Dessa forma, a UIC, em seu *leaflet* 406R, afirma que a capacidade de uma via depende do número de trens trafegando, velocidade média, estabilidade de operação, e heterogeneidade. Definem-se, assim, fatores relevantes de restrição de tráfego. Por consequência, a capacidade será medida em ocupação percentual da infraestrutura de uma seção dentro de uma janela de tempo definida previamente, considerando a infraestrutura em questão e um nível mínimo de qualidade de prestação de serviço.

A metodologia proposta pela UIC 406R segue a definição de capacidade por ela proposta, visto que o consumo percentual de capacidade é o único valor que pode ser medido de forma objetiva (UIC, 2013), levando em conta todos os parâmetros mencionados no parágrafo anterior.

A condição inicial para a análise do nível de capacidade utilizada é a existência de uma *timetable*, contendo o planejamento operacional e os tempos de partida e chegada de trens. Esta deve ser analisada sob uma perspectiva de consumo de capacidade. Somente trens agendados para o dia ou trens que tenham grande probabilidade de passar pela ferrovia em questão devem constar na *timetable.* Assim, a análise deve ser realizada em um trecho entre dois pátios de cruzamento, a partir da compressão das *timetables* (UIC, 2013).

O estudo de capacidade terá início na delimitação da área de interesse (trecho entre pátios) e na definição da janela de tempo a ser utilizada (normalmente, 24 horas). Faz-se, assim, a compressão da *timetable*, definindo um *headway* mínimo para os trens que circularão na malha, excluindo-se todos os tempos adicionais de carregamento e licenciamento. Estes últimos são definidos como *buffer time* e serão, posteriormente, considerados.

Com a *timetable* em mãos, o próximo passo da análise é a compressão. A figura abaixo exemplifica como essa compressão deve ser feita.

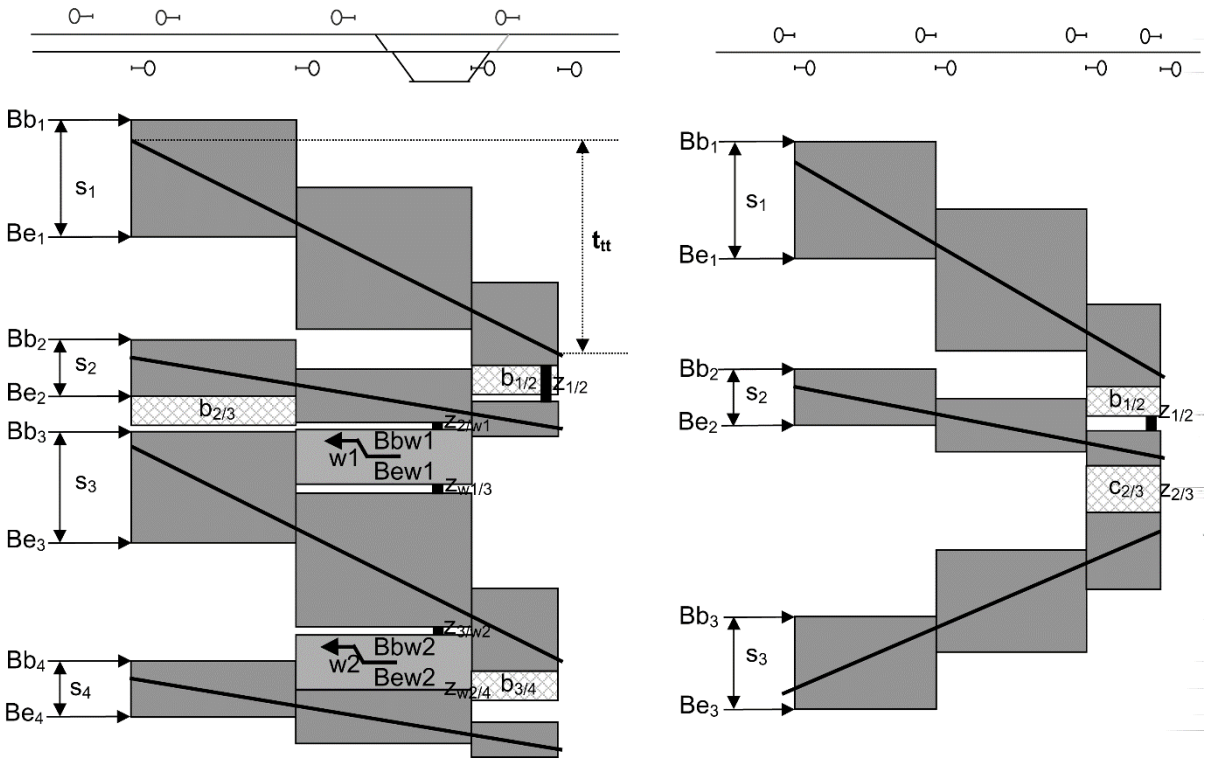

Figura 3.1: *Timetable* não Comprimida (UIC, 2013)

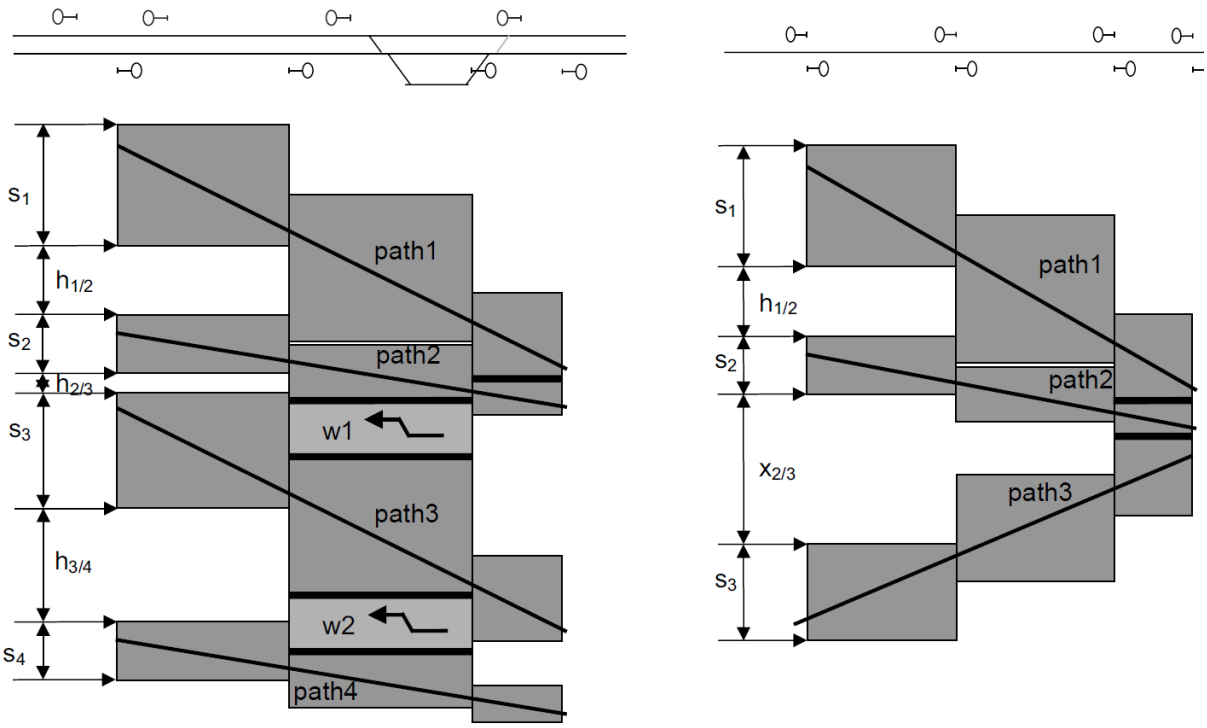

Figura 3.2: *Timetable* Comprimida (UIC, 2013)

Dessa forma, intervalos de tempo ociosos na linha (tempos de licenciamento, ultrapassagem e carga e descarga de trens) são comprimidos e reconsiderados posteriormente. Os tempos e distâncias a serem consideradas na *timetable* estão dispostos na figura abaixo.

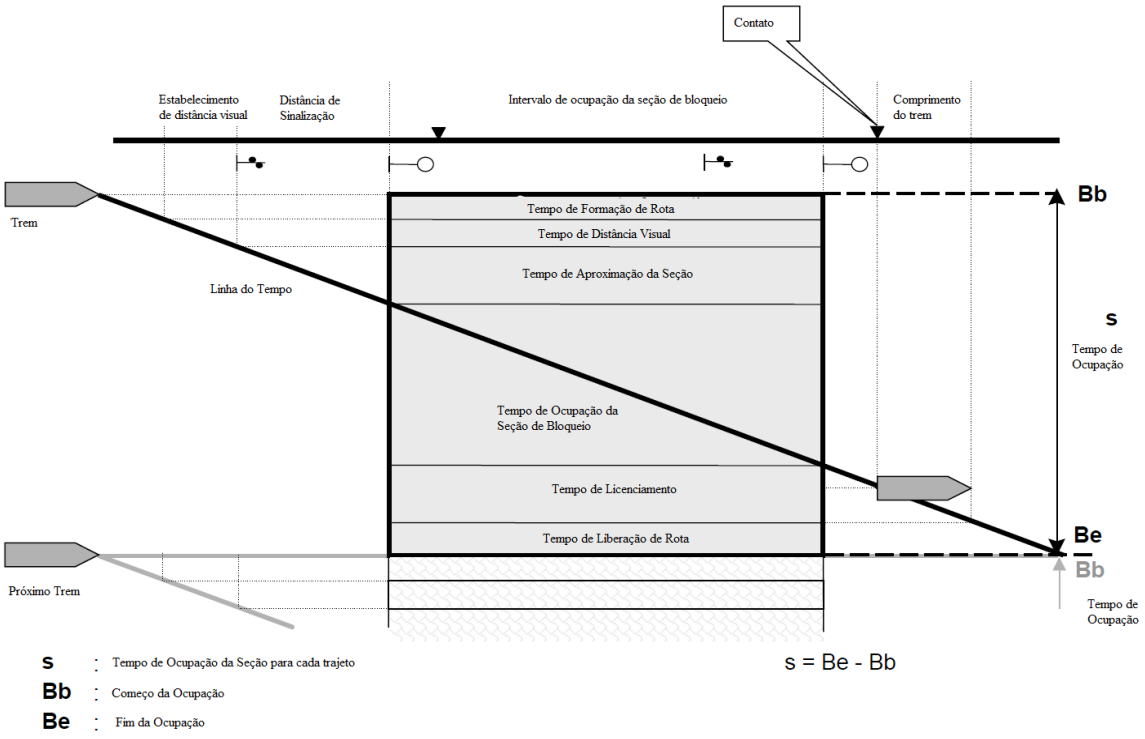

Figura 3.3: Representação da Ocupação da Seção por um Trem (UIC, 2013) - adaptada

Após a compressão da agenda de trens para um dia, o consumo percentual de capacidade será medido por meio da ocupação de infraestrutura, sendo que os tempos suplementares para a estabilização da agenda de operação e para a manutenção devem ser adicionados.

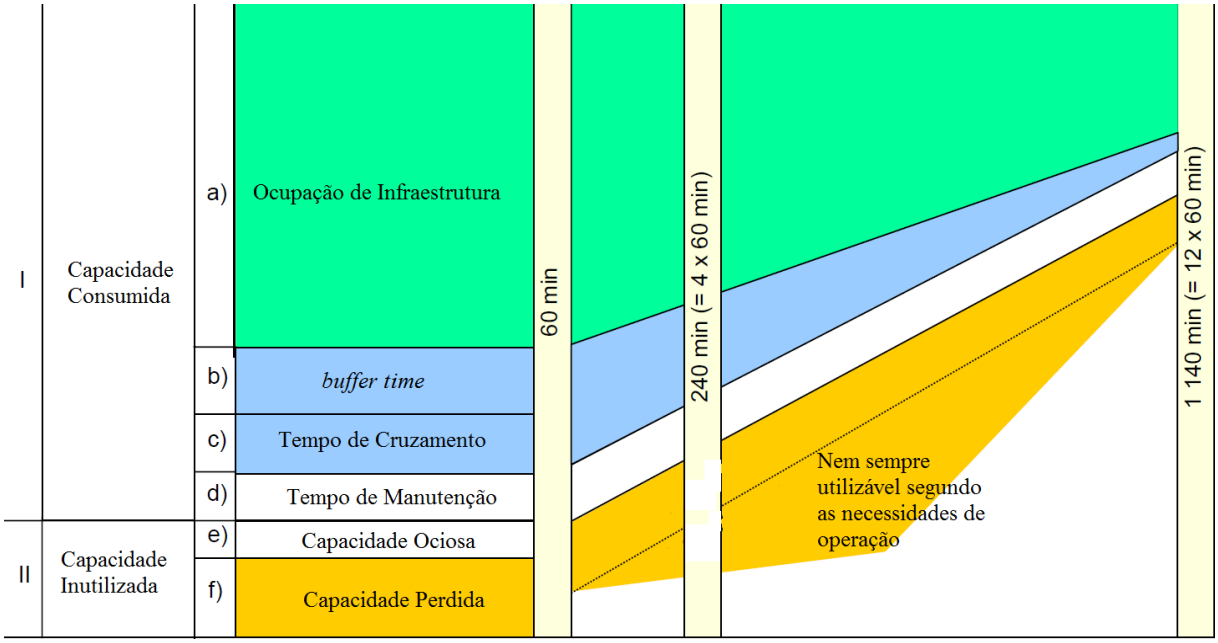

Figura 3.4: Determinação do Consumo de Capacidade (UIC, 2013) - adaptada

A fórmula para a determinação do tempo consumido é dada por:

$$k = A + B + L + D \quad (1)$$

Onde:

- k = Tempo total consumido;
- A = Tempo de Ocupação de Infraestrutura;
- B = "*Buffer Time*";
- L = Tempo adicional para linhas singelas;
- D = Tempo adicional para linhas duplas;

A capacidade consumida, conhecendo-se o tempo total consumido, será dada segundo a seguinte equação;

$$Cap = \frac{k * 100}{U} \quad (2)$$

Onde:

- Cap = Capacidade consumida (%);
- U = Janela de tempo (24 horas);

Apesar da metodologia UIC 406R não definir a forma de cálculo do *buffer time*, a literatura do setor adota um método consagrado, conhecido como metodologia de **Schwanhäußer**, representada pela seguinte equação;

$$t_p = \frac{t_a * (1 - \rho)}{\rho} \quad (3)$$

Onde;

- ρ = valor recomendado para a ocupação de infraestrutura definido na Tabela 3.1;
- t_a = *headway mínino entre trens.*

Assim, o método de **Schwanhäußer** considera atrasos gerados no pátio de cruzamento por suas diversas atividades - carregamento, descarregamento e espera para liberação de via.

A metodologia UIC 406R é amplamente utilizada em ferrovias europeias, com sistemas operacionais complexos. Apesar de a operação de tráfego ferroviário no Brasil ser relativamente diferente, as linhas brasileiras de transporte de carga operam baseadas em *timetables* diários, fazendo-se ajustes de acordo com as demandas.

Para linhas duplas, a orientação oferecida pela UIC é que a seção que contempla a linha dupla seja considerada como duas linhas separadas. Dessa forma, a capacidade será calculada da mesma forma como descrito anteriormente, fazendo-se a consideração de que cada linha é responsável por uma parcela do número de trens que realmente trafega na seção em questão.

Apesar de ser um método amplamente utilizado, existem ressalvas e considerações a serem feitas antes de sua aplicação. A primeira, e mais importante ressalva sobre o código UIC 406R é que esta é uma metodologia extremamente recente quando comparada aos métodos de medição e análise de capacidade rodoviária. A tabela abaixo apresenta tal cenário.

Tabela 3.2: Comparação Entre Manuais de Análise de Capacidade Ferroviária e Rodoviária (KHADEM SAMENI, LANDEX e PRESTON, 2011) -adaptado

	Rodovia	**Ferrovia**
Nome	*Highway Capacity Manual*	*Capacity Leaflet*
Publicado por	*Transportation Research Board* - TRB	*Union Internationale des Chemin de Fer* - UIC
Primeira Edição	1950	2004
Edição mais Recente	2010	2013
Nº de Páginas	>500	24

Após o cálculo da utilização de capacidade da *timetable*, deve ser feito o *Enrichment process*, adicionando novos trens à linha (novos percursos). No entanto, ainda que seja possível adicionar novos trens à malha, não há método definições para a criação desses percursos, além de não existir um método de avaliação econômica para a viabilidade desses novos trens. A Figura 3.5 apresenta um caso específico em que é possível a entrada de um trem à *timetable*,

porém, o tempo de espera para o cruzamento é demasiado longo e, a depender do tipo de operação a ser realizada por esse trem, sua entrada torna-se antieconômica.

Além disso, a aplicação, para além da seção entre dois pátios de cruzamento, torna-se complicada pelo possível conflito entre trens não previsto pela *timetable*, de forma que, em um dado momento, os novos percursos criados pelo *enrichtment process* podem convergir em um pátio de cruzamento, sem que esse pátio de cruzamento tenha capacidade para suportar a quantidade de trens que nele chegam.

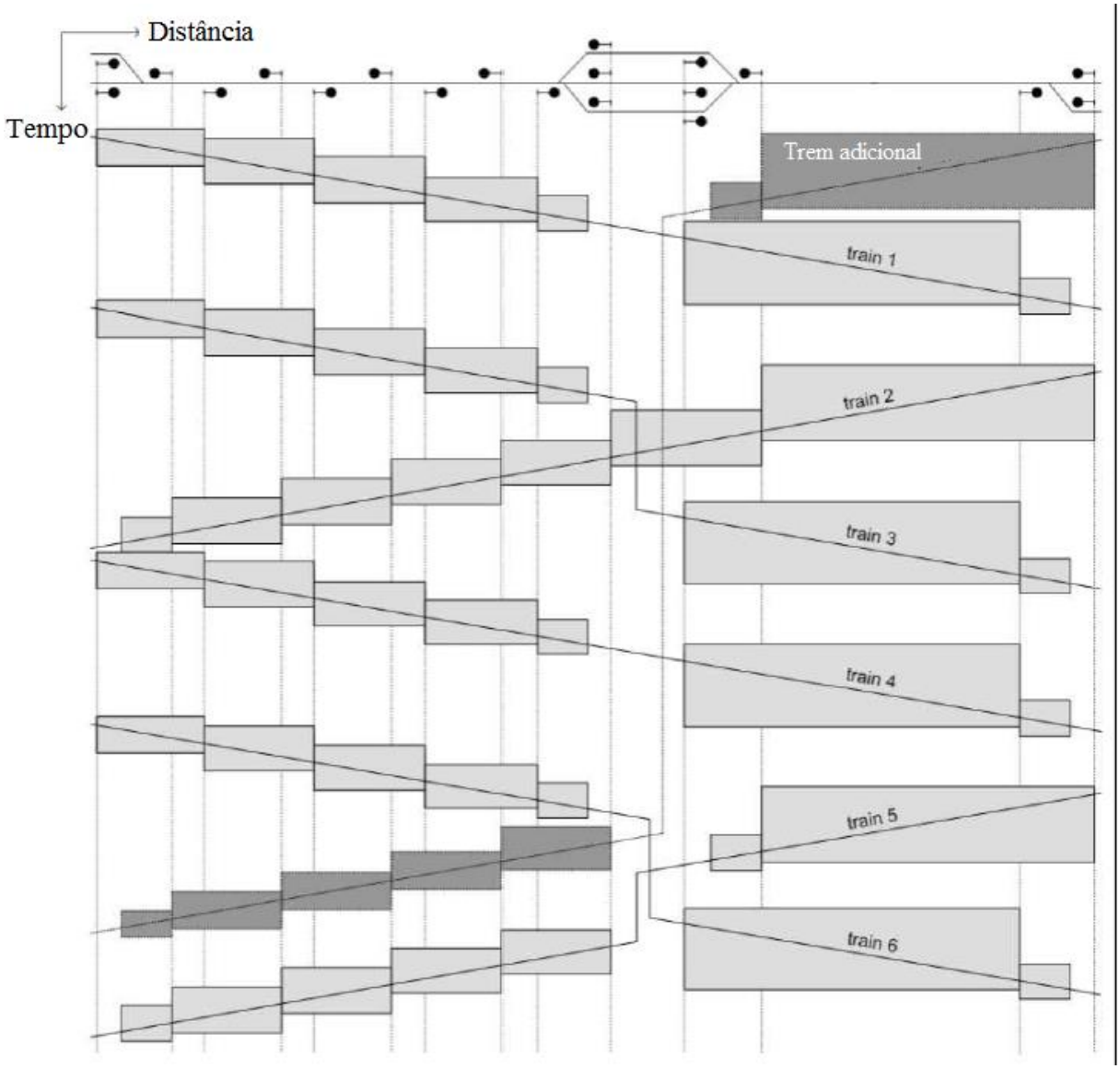

Figura 3.5: Exemplo de Adição de Trem Antieconômica (KHADEM SAMENI, LANDEX e PRESTON, 2011)

Ademais, não há menção sobre o tráfego misto entre trens de carga e de passageiros com diferentes destinações e extensões de percurso; a metodologia não leva em consideração se a criação de novas linhas atenderá às necessidades do mercado ou se tornarão apenas linhas antieconômicas; e não há informações sobre a capacidade dos terminais e pátios de cruzamento.

3.2 METODOLOGIA DE COLSON

A metodologia de Colson assume definições diferentes para a quantificação da capacidade de tráfego ferroviário, quando comparada à metodologia UIC 406R. Colson entende capacidade como o "número de trens que poderão circular num determinado intervalo de tempo, geralmente 24 horas". Adota-se também, aqui, regime de licenciamento a intervalo de espaço - um trem não pode partir de uma estação antes que o precedente tenha atingido a estação ou sinal de bloqueio seguinte. Supondo-se, assim, que uma linha seja percorrida por trens com a mesma velocidade V, o *headway* (ou intervalo entre trens) será o tempo necessário para percorrer a distância entre duas estações consecutivas (BRINA, 1982).

Sendo d (em km) a distância entre estações consecutivas, o tempo em horas será a razão da distância pela velocidade V (em km/h).

$$T = \frac{d}{V} \tag{4}$$

No caso específico citado anteriormente, com todos os trens percorrendo a malha na mesma velocidade, a capacidade de tráfego será:

$$C = \frac{24 * V}{d} \tag{5}$$

Nos termos da Equação (5), C o número de trens que poderão circular em uma janela de análise de 24 horas (1440 minutos). Essa Equação dá a capacidade de tráfego total, nos dois sentidos, considerando que a velocidade de ida e volta sejam a mesma.

Sabendo que esse cenário é fisicamente impossível, a consideração da diferença de velocidade entre trens deve ser feita e a capacidade teórica da linha será obtida da seguinte forma, transformando horas em minutos:

$$C = 2 * \frac{1440}{t_i + t_p} \tag{6}$$

Onde;

- t_i = tempo ímpar;
- t_p = tempo par.

Como já discutido no Item 2.3, capacidade teórica é um valor superestimado da capacidade de tráfego. Para trazer este valor a termos reais, a expressão anterior deverá levar em conta o tempo de licenciamento e um fator de eficiência K a ser definido.

$$C = K * \frac{2880}{t_i + t_p + \theta} \quad (7)$$

Onde;

- t_i = tempo de percurso máximo, em minutos, entre duas estações, em um sentido;
- t_p = tempo de percurso máximo, em minutos, entre duas estações, no outro sentido;
- θ = tempo de licenciamento, em minutos;
- K = coeficiente de eficiência, que varia entre 60 e 80% (BRINA, 1982), conforme as características de infraestrutura e operação.

Ao observar a Equação (7), verifica-se que diminuindo-se as distâncias entre estações, aumentando a velocidade dos trens, ou adotando um sistema de bloqueio por sinais (ABS), aumenta-se consideravelmente a capacidade de tráfego de uma seção (BRINA, 1982).

Para linhas duplas, a capacidade será calculada a partir das seguintes equações;

$$C_i = (K * \frac{2880}{t_i + \theta}) \quad (8)$$

$$C_v = \left(K * \frac{2880}{t_v + \theta}\right) \quad (9)$$

Considera-se, assim, uma capacidade para cada uma das linhas nas vias bidirecionais.

Porém, a metodologia de Colson é uma aproximação da realidade e funciona bem apenas para operação de trens de carga. Caso a linha seja de operação mista (carga e passageiro), deve-se utilizar a *timetable* (gráfico de trens) para uma melhor avaliação da capacidade da malha (BRINA, 1982).

3.2.1 ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA DE COLSON PELA ANTT

A ANTT utiliza a metodologia de Colson na análise da capacidade de transporte ferroviário de cargas para a obtenção dos valores anualmente divulgados nas Declarações de Rede, utilizando algumas adaptações listadas abaixo e informações encaminhadas pelas concessionárias ferroviárias através do sistema SAFF. O fator de eficiência K é apresentado como a multiplicação de dois fatores.

$$K = K1 * K2 \quad (10)$$

Onde:

- K1 = índice de eficiência da ferrovia referente à disponibilidade de via permanente;
- K2 = índice de eficiência da ferrovia referente à gestão de recursos operacionais.

O índice K1 é definido através de uma equação simples e direta, a qual representa quanto tempo, em porcentagem, a via fica aberta para tráfego. A equação abaixo a presenta a formulação adequada para o cálculo de K1.

$$K1 = \frac{24 - T_{vp}}{24} \tag{11}$$

Onde:

- T_{vp} = tempo de via parada/interditada para manutenção.

Para o índice de eficiência referente à gestão de recursos operacionais K2, foram estabelecidos critérios objetivos com base na literatura do setor, de forma a adequar os valores apresentados pelas concessionárias àqueles indicados pelas referências técnicas.

Lai (LAI, 2008) apresenta um critério mais objetivo e menos restritivo para a definição de K2, indicando que este assume valores de 0,6 para trechos ferroviários não sinalizados, 0,7 para trechos com sistema de sinalização ABS e 0,8 para aqueles com sistema de sinalização CTC.

Foram listados, assim, 11 critérios para a construção de um "score" correspondente a cada concessionária ou trecho da concessão. Os critérios observados tiveram como base o tipo de sinalização presente na via permanente, quais sejam: intertravamento, bloqueio, CCO, GPS, rádio, chaves de mola, chaves comandadas, sinais físicos, circuitos de via, contadores de eixos e atuação do material rodante. A listagem e classificação dos critérios se encontra como **ANEXO** desta monografia. Importa ressaltar, que para alguns casos, em virtude de recursos administrativos impetrados pelas concessionárias de ferrovias no âmbito da ANTT, bem como de eventuais imprecisões presentes na forma de definição do índice K2 pela Agência, foram adotados como finais valores médios entre o proposto pelos concessionários e os propostos pela Agência.

Quanto às equações utilizadas para o cálculo da capacidade, diferencia-se entre trechos de linha singela e dupla, e considera-se ainda se o trecho possui tráfego unidirecional ou bidirecional, conforme indicado a seguir.

- Para linha singela e sentido do tráfego bidirecional:

$$C = K \cdot \left(\frac{1.440}{t_i + t_v + \theta}\right) \tag{12}$$

- Para linha singela e sentido de tráfego unidirecional:

$$C_i = K \cdot \left(\frac{1.440}{t_i + \theta}\right) \; e \; CI_v = 0 \tag{13}$$

- Para linha dupla e sentido do tráfego bidirecional:

$$C_i = K \cdot \left(\frac{1.440}{t_i + \theta}\right) \; e \; C_v = K \cdot \left(\frac{1.440}{t_v + \theta}\right) \tag{14}$$

- Para linha dupla e sentido do tráfego unidirecional:

$$C_i = \; 2 \; \cdot \left[K \cdot \left(\frac{1440}{t_i + \theta}\right)\right] \; e \; C_v = 0 \tag{15}$$

3.3 METODOLOGIA UIC - 405R

De forma semelhante à metodologia de Colson, a metodologia UIC - 405R baseia seu cálculo em parâmetros que podem alterar o tempo de percurso dos trens. Apesar de não mais estar em utilização, sobretudo pela implementação do método UIC - 406R, a metodologia UIC - 405R apresenta uma aproximação, de forma analítica, da capacidade em número de trens. A UIC propõe a seguinte fórmula para cálculo de capacidade:

$$P = \frac{T}{t_a + t_b + t_c} \tag{16}$$

Onde;

- P = Capacidade em uma janela de tempo (hora, dia, mês, etc.);
- T = Tempo da janela de referência (usualmente, 24 horas);
- t_a = *Headway* mínimo - *Headway* é definido como o intervalo de tempo entre dois trens consecutivos;
- t_b = É uma margem de expansão que leva em consideração possíveis atrasos na operação da malha com o objetivo de atingir uma operação mais realista e qualidade de serviço mais alta;
- t_c = É um tempo adicional baseado no número de seções de bloqueio entre pátios.

O headway mínimo para cada linha é calculado segundo a equação abaixo (UIC, 1996):

$$t_a = \sum_s \left(t_{h,ij} \; \mathrm{X} \; f_{ij}\right) \tag{17}$$

Para a Equação (17), devem ser consideradas todas as combinações de tipos de trens presentes na linha em questão. Assim, considerando que a linha opera com um trem rápido e um lento, o *headway* mínimo será diferente, considerando as 4 possíveis sucessões entre os trens em questão. Dessa forma, s representa o número de diferentes sucessões possíveis na linha em questão, $t_{h,ij}$ é o *headway* mínimo para cada caso em questão e f_{ij} representa a frequência

relativa de cada sucessão. O último parâmetro é calculado a partir da razão entre a frequência absoluta F_{ij} (quantidade de vezes que a sucessão ij aparece na tabela de operação) dividida pelo número total de sucessões *N*.

$$f_{ij} = \frac{F_{ij}}{N-1} \tag{18}$$

A margem de expansão é calculada a partir da aplicação da teoria de filas à seção em questão. A metodologia mais utilizada é o modelo M/M/1 de filas, que considera que tanto o processo de chegadas (o primeiro M do modelo M/M/1) quanto o processo de atendimento (o segundo M) seguem processos estocásticos de Poisson independentes. No caso concreto, a taxa de chegada de trens ao pátio de cruzamento é representada pelo parâmetro λ, e a taxa de atendimento pelo parâmetro μ, cuja razão resulta na taxa de utilização**.** A taxa de utilização pode ser apresentada, também, da seguinte forma:

$$\psi = \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_a}{t_a + t_b} \tag{19}$$

Um extenso estudo realizado pela UIC define valores base para o parâmetro de taxa de utilização:

- 0,60 - correspondente a 1 trem em fila;
- 0,75 - correspondente a 3,1 trens em fila;

Para o caso de linhas duplas, assim como na metodologia de Colson, será calculada, para cada uma das linhas, uma capacidade e será considerada a média entre as duas como capacidade de tráfego.

Assim, a metodologia 405R exclui, por completo, todas as discussões em relação aos índices de eficiência da via e trata de maneira mais objetiva a questão dos tempos de percurso. Com a metodologia em questão, o limitador de capacidade torna-se, principalmente, o *headway*. É possível relacionar *headway* e velocidade da via, definindo assim limites mínimos de velocidade relacionando-os à qualidade do serviço.

3.4 METODOLOGIA PROPOSTA PELO TRANSPORTATION RESEARCH FORUM

Das metodologias apresentadas, a proposta da *Transportation Research Forum* e a metodologia de Colson são as únicas que apresentam o conceito de índice de eficiência. Dessa forma, o cálculo de capacidade é feito, em um primeiro momento, de forma teórica, utilizando tempos de trânsito e parâmetros sem ineficiências incorporadas e, posteriormente, por meio de

um fator de eficiência, levando em consideração as ineficiências inerentes ao sistema de transporte ferroviário.

Na situação ideal, a capacidade teórica é calculada da seguinte forma:

$$C_t = \frac{24 * V}{L_B * (N_s - 1) + L_t} \quad (20)$$

Onde;

- L_b = Distância entre pátios;
- L_t = Extensão do trem;
- N_s = Número de seções de bloqueio entre pátios;
- V = Velocidade.

Assim como mencionado anteriormente, a capacidade teórica refere-se a uma superestimação da capacidade que não corresponde à realidade. De acordo com a *American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association* - AREMA, a capacidade prática pode ser representada pela seguinte equação:

$$C = C_t * E \quad (21)$$

- C = Capacidade prática;
- C_t = Capacidade teórica;
- E = Fator de eficiência de "despacho".

A eficiência de "despacho" depende do tipo de sinalização presente na malha, tipo de tráfego (carga, passageiro ou misto), quantidade de linhas duplas e a distribuição altimétrica do terreno (MITRA, *et al.*, 2010). Segundo um estudo realizado por Kraft em 1982, a capacidade prática deve representar de 60 a 70% da capacidade teórica.

Para o caso de linhas duplas, assim como na metodologia de Colson, será calculada, para cada uma das linhas, uma capacidade e será considerada a média entre as duas como capacidade de tráfego.

3.5 METODOLOGIA GRÁFICA DE MEDIÇÃO DE CAPACIDADE DE TRÁFEGO UNIFORME

Para o método apresentado a seguir, a capacidade de tráfego será definida como o número máximo de trens que percorrem a infraestrutura em um dia.

O método em questão determina, primeiramente, a capacidade máxima em trens ou pares de trens que prevalecem na operação da malha. Assim, a capacidade da seção em questão

será determinada, em primeiro instante, pelo gráfico de trens representando a operação da via. Este gráfico deve apresentar linhas paralelas, de forma a representar o trem-tipo da ferrovia - trens possuindo a mesma velocidade e mesmo modelo de operação.

Com o gráfico de linhas paralelas, a capacidade da seção pode ser representada da seguinte maneira:

$$C = \frac{1440 - T_{vp}}{T_{pg}} \alpha_{ps} \tag{22}$$

Onde,

- T_{vp} = tempo fora de operação;
- T_{pg} = período de ocupação viária no gráfico;
- α_{ps} = coeficiente de confiabilidade na operação.

Normalmente, o tempo de paralização para manutenção de via, em linhas singelas, é assumido como 60 minutos, segundo a presente metodologia. O fator de confiança da operação varia entre 0,86 e 0,98 para linhas duplas e 0,87 e 0,98 para linhas singelas. O período de ocupação de linhas singelas é o tempo de ocupação de um grupo de trens-tipo dentro da seção em estudo, representado pelo gráfico de linhas paralelas entre estações de cruzamento (CICAK, 2004).

A capacidade será calculada nos termos da Equação (22) somente se existir apenas um padrão de gráfico de trens. Além disso, a capacidade é calculada para todas as seções entre estações de cruzamento e a menor delas será a capacidade limitante, ou o gargalo (CICAK, 2004). Como se sabe, a mudança do gráfico de operação é constante em ferrovias e a Equação (22) não é capaz de absorver essas mudanças.

Para a obtenção da capacidade, considere a equação abaixo:

$$\left(1440 - T_{vp}\right)\alpha_{ps} = \sum_{i=1}^{n} N_i T_i \tag{23}$$

Onde

- N_i = número de trens operando no sistema i de tráfego que percorrem a malha;
- T_i = Tempo, durante a janela de tempo definida, ocupado por trens que performam segundo o esquema i;
- n = número total de gráficos/sistemas de operação.

Trazendo a equação à realidade brasileira, os esquemas de operação seriam dois: o primeiro seria a movimentação de trens carregados; e o segundo a movimentação de trens vazios. Assim, formar-se-iam dois tipos de gráfico. O primeiro com trens-tipo mais lentos,

representando a operação de trens carregados, e o segundo com trens mais rápidos, representando trens vazios. O tempo total de ocupação viária T_{pg} será dado pela multiplicação dos tempos de trânsito de trens carregados pelo número de trens carregados, somados ao tempo de trânsito de trens vazios multiplicado pelo número de trens vazios que percorrem a malha na janela de tempo definida.

Em linhas singelas, quando a porcentagem de trens de carga em uma direção é menor do que 90% em relação à direção contrária, deverão ser considerados pelo menos dois tipos de gráfico para o cálculo de capacidade. A capacidade será, também, calculada para todas as seções entre pátios de cruzamento levando em conta o mix de trens γ_{np} da linha. O valor γ_{np} será dado pela razão entre o número de trens presentes em cada uma das direções consideradas.

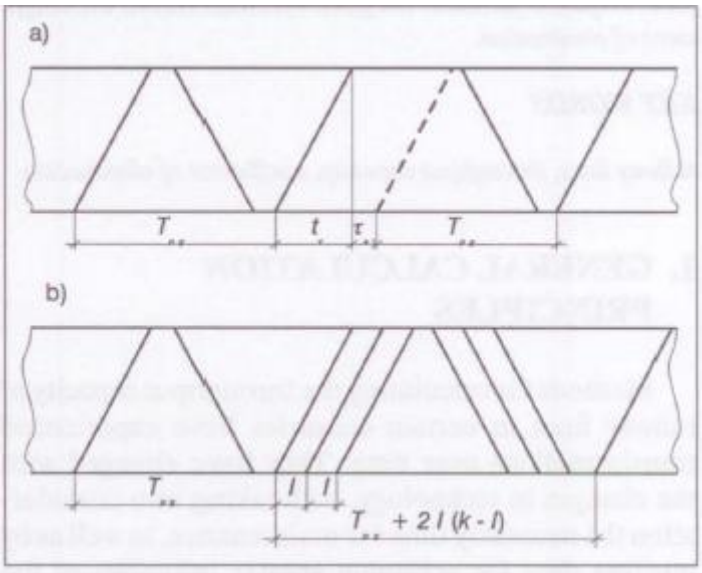

Figura 3.6: Representação Gráfica da Operação de Trens. Na Letra a) em linha Singela e na letra b) em linha dupla (CICAK, 2004)

Considerando Nsp como o número de trens na direção principal e Nss na direção oposta, calcula-se o coeficiente γ_{np}.

$$\gamma_{np} = \frac{N_{ss}}{N_{sp}} \tag{24}$$

Isolando o número de trens na direção de maior tráfego N_{sp} e considerando o coeficiente de heterogeneidade de operação γ_{np}, tem-se:

$$N_{sp} = \frac{(1440 - T_{pr})\alpha_{ps}}{T_{pg}\gamma_{np} + (t_v + \tau_{sl})(1 - \gamma_{np})} \tag{25}$$

Onde:

- τ_{sl} = tempo de licenciamento;
- t_v = tempo de carga e descarga.

Para a direção oposta,

$$N_{ss} = N_{sp}\gamma_{np} \tag{26}$$

Finalmente, a capacidade de tráfego da seção em análise será calculada como;

$$C = N_{ss} + N_{sp} \tag{27}$$

A formulação apresentada nessa seção muito se assemelha à metodologia de Colson, apresentada no Item 3.2 da presente monografia.

Para o caso de linhas duplas, assim como na metodologia de Colson, será calculada, para cada uma das linhas, uma capacidade e será considerada a média entre as duas como capacidade de tráfego.

3.6 METODOLOGIA RENFE - *RED NACIONAL DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES*

O modelo de cálculo de capacidade de tráfego ferroviário desenvolvido pela *Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles* - RENFE consiste na contabilização de todos os tempos de ocupação (tempos de trânsito e atrasos) do trecho considerado gargalo pelos diversos trens que percorrem a malha. Para uma análise diária, a soma desses tempos não deve ultrapassar 1440 minutos, ou 1 dia (OLIVEROS RIVES, MÉNDEZ e PUENTE, 1983).

Sob a ótica de uma seção entre pátios de cruzamento, partindo da estação 1 com sentido a 2, onde ni é o número de trens que ocupam o trecho;

$$\sum_{i=1}^{n} ni = N1 \tag{28}$$

Para o sentido oposto;

$$\sum_{i=1}^{n} n'i = N2 \tag{29}$$

O número total de trens que circulam na seção crítica será dado pela soma;

$$N1 + N2 = NT \tag{30}$$

De forma a atender à principal condição apresentada no primeiro parágrafo, em que a soma dos tempos de utilização da malha não ultrapasse T = 1440 minutos;

$$\sum_{i=1}^{n} ni\, ti + \sum_{i=1}^{n} n'i\, t'i + \sum_{i=1}^{n} ni\, \tau i + \sum_{i=1}^{n} n'i\, \tau i \leq T \tag{31}$$

Onde,

- ti - tempo de percurso médio dos trens em um sentido;
- ti' - tempo de percurso médio dos trens no sentido contrário;
- τi - tempo de licenciamento.

Sendo, Pi a razão entre o número de trens em um sentido e o total de trens, aplica-se a seguinte equação à seção em análise;

$$NT \leq \frac{T}{\sum_{i=1}^{n}(ti + \tau i)\, Pi + \sum_{i=1}^{m}(t'i + \tau i)\, P'i} \tag{32}$$

Para o caso de linhas duplas, assim como na metodologia de Colson, será calculada, para cada uma das linhas, uma capacidade e será considerada a média entre as duas como capacidade de tráfego.

4 ESTUDO DE CASO

Para o presente projeto, buscar-se-á aplicar as metodologias apresentadas em três corredores ferroviários.

O primeiro corredor a ser estudado será aquele conhecido como Rondonópolis - Santos, abrangendo a malha de duas concessões de propriedade de um mesmo grupo econômico: a Rumo Malha Norte - RMN e a Rumo Malha Paulista - RMP. O trecho a ser estudado é uma seção relevante quanto transporte ferroviário de carga, inclusive tendo em vista que se encontra em discussão a prorrogação do contrato de concessão da RMP.

O segundo corredor está situado entre as estações Uberaba e Ribeirão Preto, da Ferrovia Centro-Atlântica.

O último corredor a ser estudado diferencia-se dos outros dois pela dinâmica de transporte e principal produto transportado, o minério de ferro. Trata-se da Estrada de Ferro Carajás, concessão pertencente ao grupo Vale.

4.1 ANTT E A ANÁLISE DE CAPACIADE DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO

Implantada em fevereiro de 2002, através da Lei nº 10.233/2001, a Agência Nacional de Transportes Terrestres é uma Autarquia em regime especial, presente em todo o território nacional, com sede em Brasília.

Esta tem por objetivo regular e fiscalizar as atividades de prestação de serviço e exploração da infraestrutura de transportes terrestres exercida por terceiros, visando: garantir a movimentação de pessoas e bens; harmonizar os interesses dos usuários com os das empresas concessionárias, permissionárias, autorizadas e arrendatárias, e de entidades delegadas, preservado o interesse público; e arbitrar conflitos de interesses e impedir situações que configurem competição imperfeita ou infração contra a ordem econômica.

Quanto ao cenário ferroviário, dentro de suas atribuições específicas, cabe à ANTT "administrar os contratos de concessão e arrendamento de ferrovias celebrados até a vigência desta Lei", e "fiscalizar a prestação dos serviços e a manutenção dos bens arrendados, cumprindo e fazendo cumprir as cláusulas e condições avençadas nas outorgas e aplicando penalidades pelo seu descumprimento" (Lei 10.233). A Superintendência de Transporte Ferroviário de Cargas -- SUFER é a unidade técnica da Agência que lida com as atribuições ligadas ao transporte ferroviário.

Ainda, em relação aos estudos de capacidade, assim como mencionado anteriormente, estes são realizados pela ANTT no ambiente das Declarações de Rede, que são objeto de análise e de fiscalização por parte da Agência, podendo essa solicitar a correção de inconsistências.

A partir do ano de 2015, as Declarações de Rede passaram a ser enviadas pelas concessionárias/subconcessionárias por meio do módulo Declaração de Rede do -SAFF, segundo define a Resolução 3.695/2011, constando no envio as variáveis necessárias ao cálculo de capacidade através da metodologia de Colson (Item 3.2). As variáveis coletadas são: o arranjo operacional dos trechos (linha dupla ou singela, tráfego unidirecional e bidirecional e sentidos de tráfego); os índices K1 e K2 de eficiência, definidos com base em informações da literatura técnica do setor e adaptações feitas pela própria ANTT; e os tempos de percurso (trânsito e licenciamento). Dessa forma, a análise compreende os seguintes passos: (i) o registro e validação de forma e conteúdo da apresentação das Declarações de Rede, inclusive em sintonia com o módulo Cadastro Ferroviário Nacional - CAFEN, do SAFF; (ii) a aplicação do método de cálculo de capacidade instalada definido para a Declaração de Rede, com os devidos ajustes acordados em função de análises posteriores; (iii) a análise sistêmica dos parâmetros de cálculo da capacidade instalada; e (iv) a consulta às Declarações de Rede dos anos anteriores.

No entanto, em alguns casos, após recurso impetrado pelas concessionárias, via de regra, com a alegação de que os índices de eficiência arbitrados pela Agência são demasiadamente elevados, adotou-se um valor médio entre o proposto pela concessionária quando da apresentação de sua Declaração de Rede, e aquele arbitrado pela ANTT.

Com o passar dos anos, caso a atual metodologia de análise seja mantida, a tendência é que os índices de eficiência definidos na DR 2015 tomem seus valores finais, e a análise, quando da apresentação anual da Declaração de Rede pelas concessionárias se foque nos tempos de percurso e suas eventuais inconsistências, questionando, sempre que necessário, as concessionárias a respeito dessas, e levando o histórico das Declarações de Rede em consideração.

4.2 HISTÓRICO DAS FERROVIAS

4.2.1 RUMO MALHA NORTE - RMN

A ferrovia em tela teve sua concessão gerida, inicialmente, pela FERRONORTE S/A, outorgada em 1989 por 90 anos. Em 2008 a ANTT, por meio da Deliberação 289/08, aprovou

a alteração do estatuto social da FERRONORTE S/A, que passou a ser denominada América Latina Logística - ALL Malha Norte. Em 2017, foi aprovada a nova denominação de ALL Malha Norte para Rumo Malha Norte.

Pela dimensão, o projeto da Rumo Malha Norte é de longo prazo e vem sendo implantado em trechos, tendo sido iniciadas as operações ferroviárias a partir da abertura ao tráfego público do primeiro trecho, que se inicia às margens do Rio Paraná (Ponte Rodoferroviária) e termina no Município de Chapadão do Sul, no Estado do Mato Grosso do Sul. O trajeto foi posteriormente estendido até o município de Rondonópolis, no Mato Grosso.

A Malha Norte possui uma extensão de 735,261 km, toda em bitola larga (1,60 m), operando 365 dias por ano com equipe embarcada e circulação de produtos perigosos na malha. Esta concessão compreende uma área de atuação dentro dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além de possuir conexão com a Rumo Malha Paulista. No ano de 2016, a Malha Norte foi responsável pela movimentação de 14,9 milhões de toneladas úteis - TU, correspondendo a 23 bilhões de tonelada quilômetro-útil - TKU, onde soja, farelo de soja e milho representaram, juntos, 87,4% do volume de transporte.

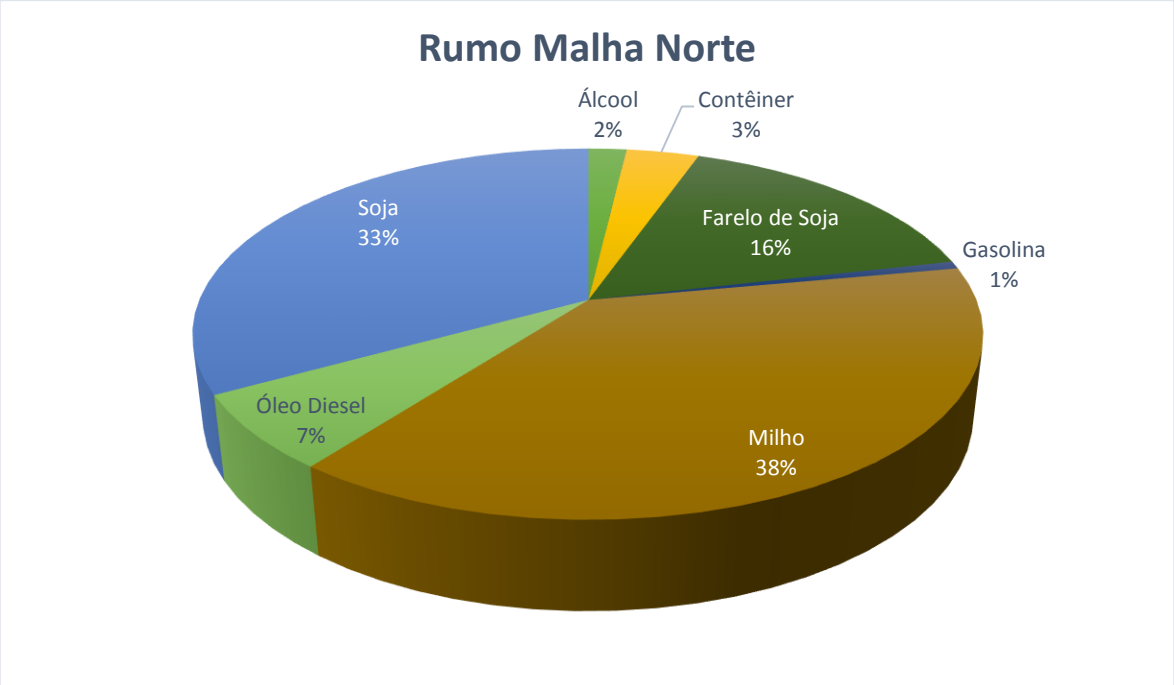

Figura 4.1: Produtos Transportados em 2016 pela RMN (SAFF, 2017) - adaptado

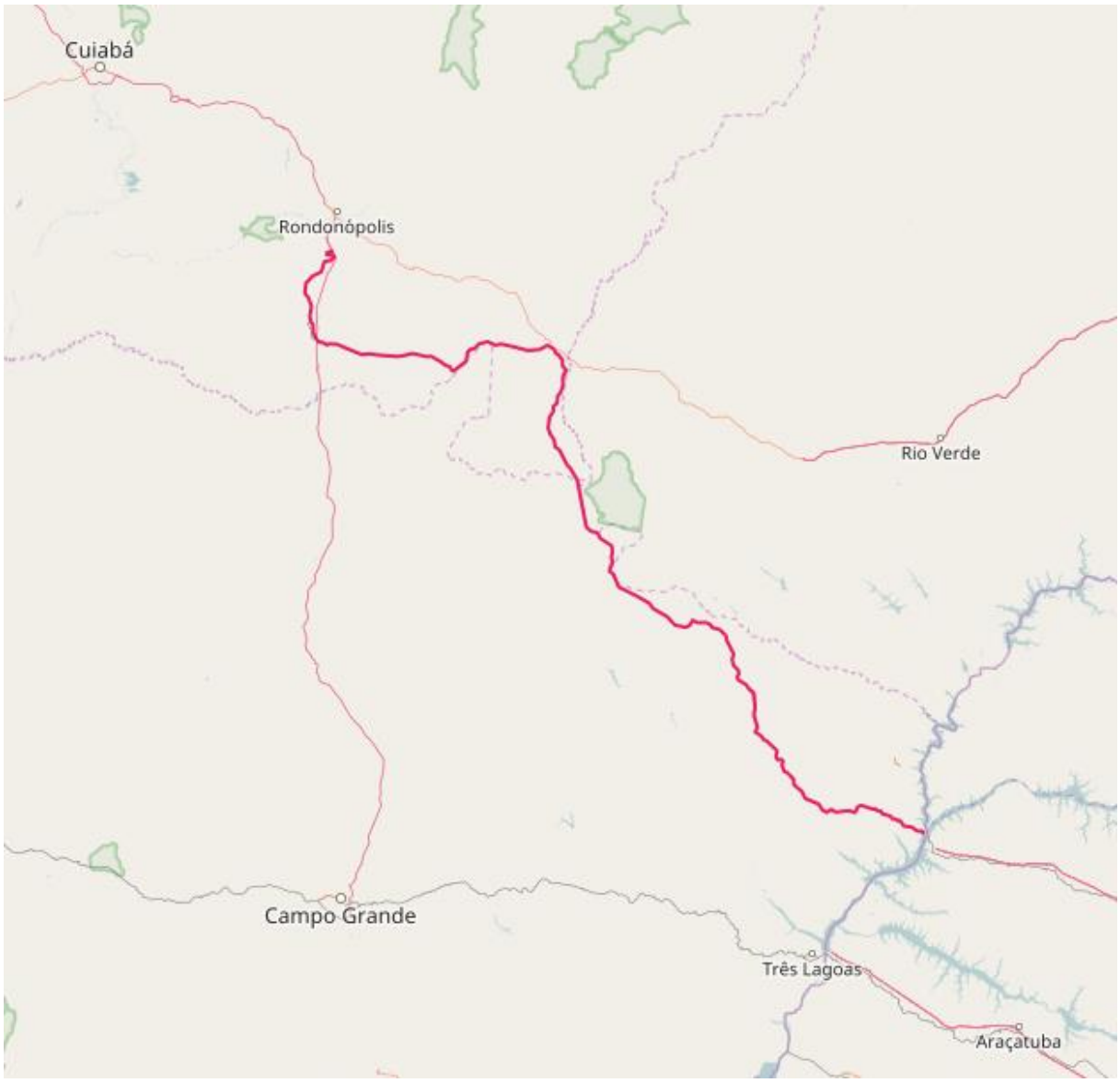

Figura 4.2: Ferrovia Rumo Malha Norte (SAFF, 2017)

4.2.2 FERROVIA RUMO MALHA PAULISTA - RMP

A FERROBAN S/A - Ferrovia Bandeirantes obteve a concessão da Malha Paulista em leilão no ano de 1998. Em 2008 a ANTT, por meio da Deliberação 359/08, aprova a alteração do estatuto social da FERROBAN S/A, que passou a ser denominada América Latina Logística - ALL Malha Norte. Em 2017, foi aprovada a nova denominação de ALL Malha Paulista para Rumo Malha Paulista.

A concessionária iniciou suas operações no ano de 1999, e sua malha liga o Porto de Santos às cidades de Santa Fé do Sul, Panorama e Colômbia, totalizando 2.117,454 km de malha ferroviária, de forma a escoar principalmente a produção dos estados do Mato Grosso,

Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Dentro de seus 2117,454 km de extensão, 304,206 km são em bitola métrica (1,00 m), 1544,012 km em bitola larga (1,60 m) e 269,236 km em bitola mista (1,00 m e 1,60 m).

No ano de 2016, a Rumo Malha Paulista transportou cerca de 6 milhões de toneladas úteis - TU, correspondendo a 20 bilhões de TKU, sendo 12 bilhões provenientes de direito de passagem - Direito de passagem é a operação em que uma concessionária, mediante remuneração ou compensação financeira, permite outra concessionária trafegar na sua malha para dar prosseguimento, completar ou encerrar a prestação de serviço público de transporte ferroviário, utilizando sua via permanente e seu respectivo sistema de licenciamento de trens - e tráfego mútuo - Tráfego mútuo é a operação em que uma concessionária necessitando ultrapassar os limites geográficos de sua malha para prestar um serviço pública, compartilha recursos operacionais com a concessionária em cuja malha se dará o prosseguimento ou encerramento da prestação de serviço mediante remuneração ou compensação financeira - da Rumo Malha Norte. A RMP recebe, ainda, fluxos da Ferrovia Centro-Atlântica e MRS. Assim como a RMN, a RMP tem como produto principal de transporte derivados agropecuários.

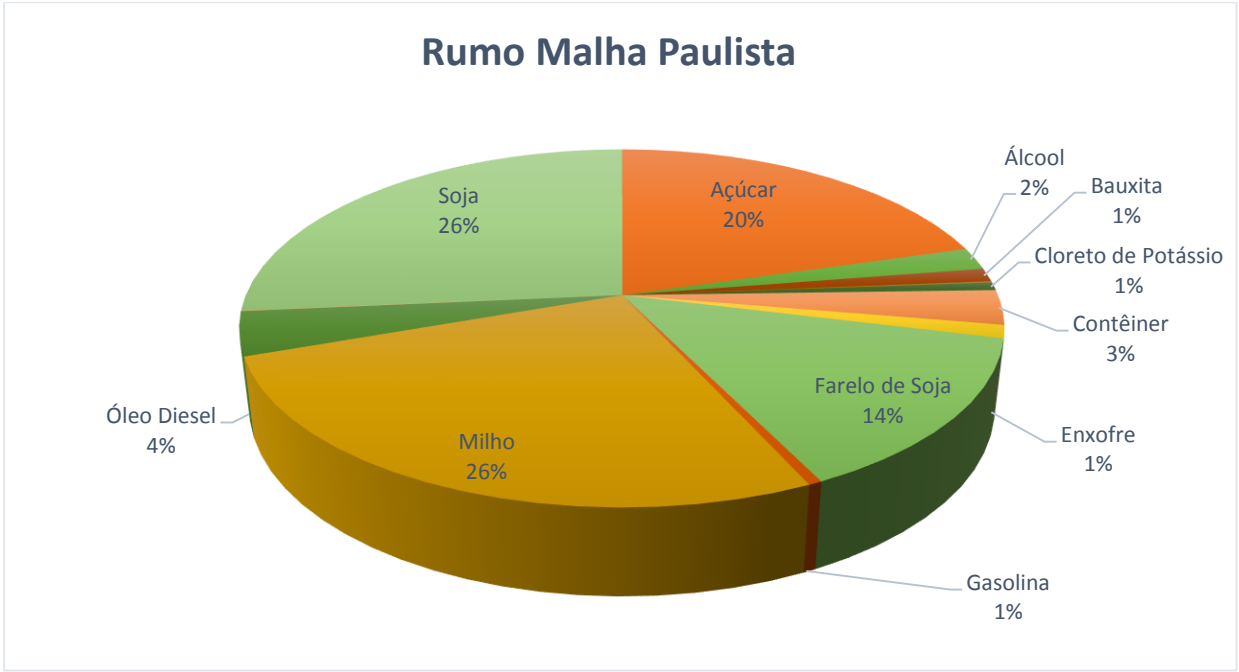

Figura 4.3: Produtos Transportados em 2016 pela RMP (SAFF, 2017) - adaptado

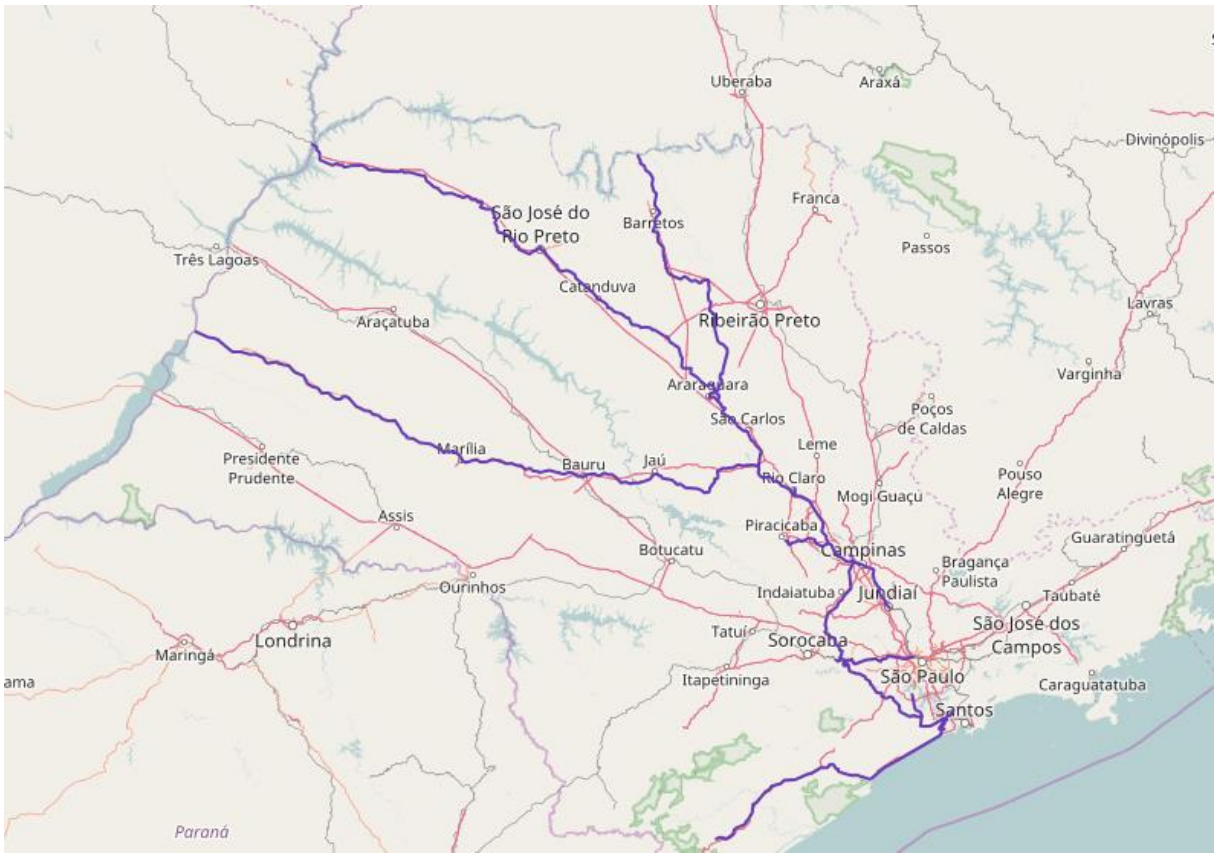

Figura 4.4: Ferrovia Rumo Malha Paulista (SAFF, 2017)

4.2.3 FERROVIA CENTRO-ATLÂNTICA - FCA

Em 1996 a Ferrovia Centro-Atlântica obteve da Malha Centro Leste a concessão de operação da ferrovia. Voltada exclusivamente para operação ferroviária de cargas, a FCA concentra-se, principalmente, no transporte de granéis agrícolas e derivados de petróleo.

Sendo uma das maiores concessões ferroviárias do Brasil, a Ferrovia Centro-Atlântica possui 7.860,479 km, atuando em Minas Gerias, Sergipe, Goiás, Espirito Santo, Distrito Federal, Rio de Janeiro, Bahia e São Paulo. Esta é, em sua maior parte, de bitola métrica (7.723,304 m) e em 137,175 km de extensão, sua bitola é mista (1,00 e 1,60 m).

No ano de 2016, a FCA produziu 24,99 milhões de TU e quase 12 bilhões de TKU, sendo 1 bilhão proveniente de trafego mútuo e direito de passagem. Assim como nas ferrovias RMP e RMN, os principais produtos transportados são granéis agrícolas, com cerca de 40% do volume sendo de milho e soja.

O trecho estudado nessa monografia será o corredor compreendido entre as estações Uberaba e Ribeirão Preto da FCA, totalizando uma extensão de aproximadamente 180 km. O corredor em tela corresponde a uma das principais vias de escoamento de grãos com destino ao

Porto de Santos movimentando, no ano de 2016, um total de 7,6 milhões de TU, correspondendo a 1,2 bilhões de TKU.

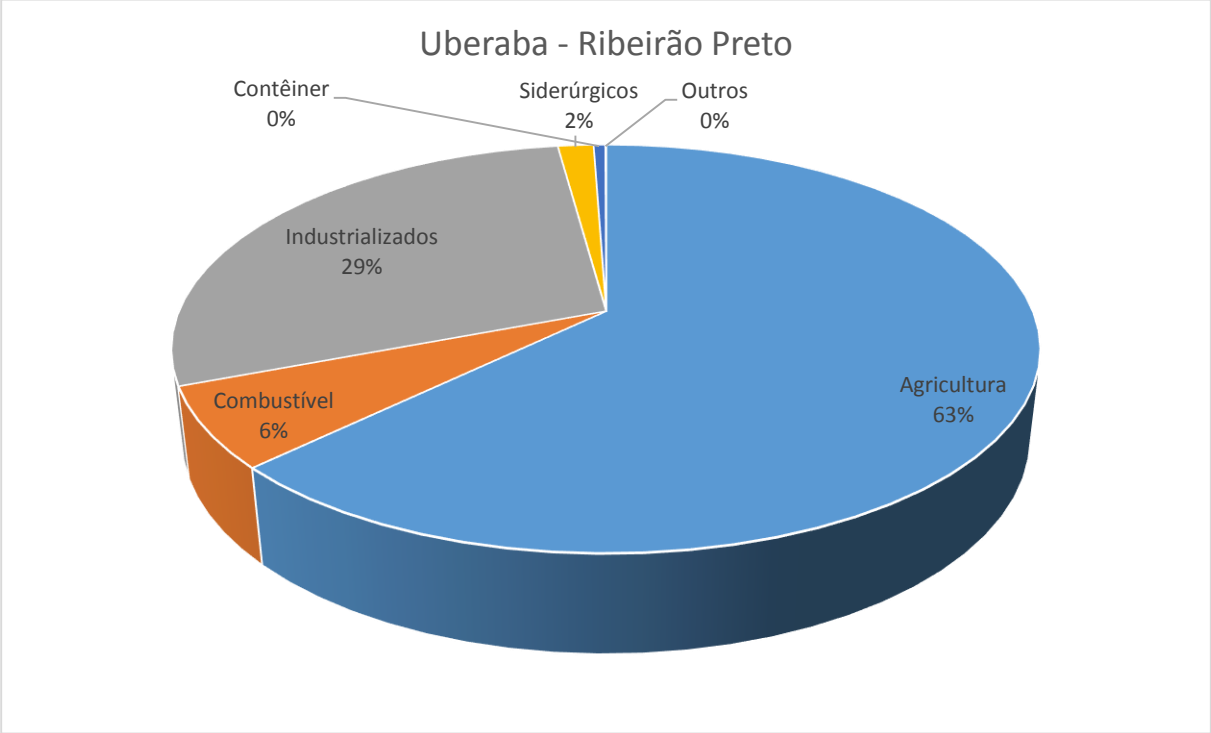

Figura 4.5: Produtos Transportados em 2016 no Corredor Uberaba - Ribeirão Preto (SAFF, 2017) - adaptado

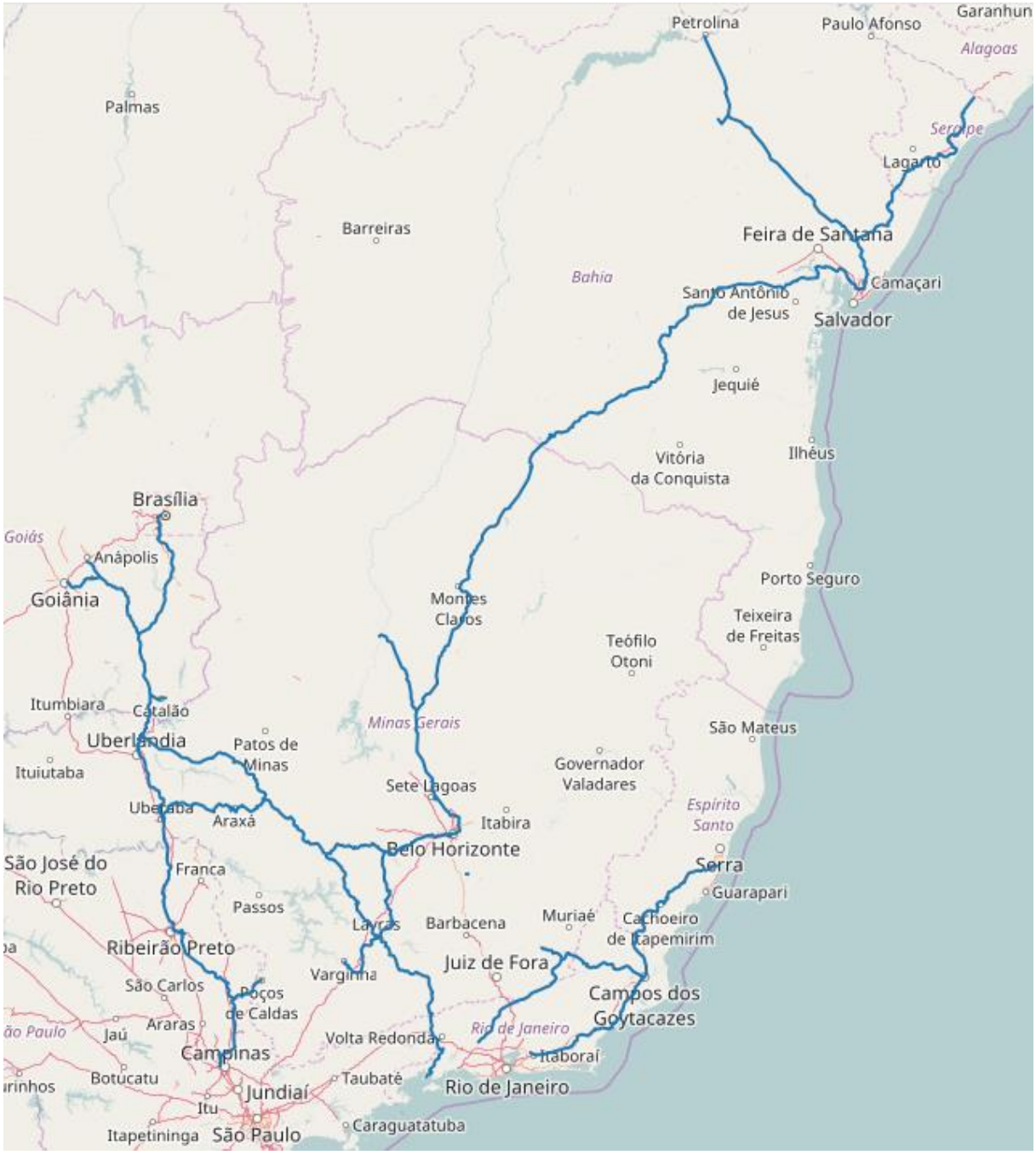

Figura 4.6: Ferrovia Centro-Atlântica (SAFF, 2017)

4.2.4 HISTÓRICO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS - EFC

A antiga companhia estatal Vale do Rio Doce obteve, em 1997, a concessão da exploração dos serviços de cargas e passageiros, prestados pela Estrada de Ferro Carajás. A empresa, desde então, dá prosseguimento às operações destes serviços.

Atuando nos estados do Pará e Maranhão, a Estrada de Ferro Carajás tem 996,669 km de extensão, em bitola larga (1,60 m), ligando a maior mina de minério de ferro a céu aberto do mundo, em Carajás, ao Porto de Itaqui, em São Luís.

Diferentemente das outras concessões apresentadas, a EFC tem como principal produto o minério de ferro para a exportação, ocupando cerca de 98% da totalidade de produtos transportados por esta ferrovia. Apesar do cenário econômico ter se mostrado desfavorável para grandes projetos da indústria siderúrgica brasileira, a Vale S/A, em 2005, começou os estudos de engenharia para o projeto que representará um dos maiores volumes de investimento privado no Brasil nesta década, prometendo impulsionar o desenvolvimento econômico social nos estados do Pará e Maranhão. O projeto S11D, que consiste na duplicação da ferrovia em toda a sua linha principal, é o maior projeto da indústria ferroviária brasileira e, quando em plena operação, fornecerá mais 90 milhões de toneladas métricas de minério de ferro por ano, contribuindo para que a Vale alcance o patamar de 230 milhões de toneladas por ano nessa concessão (VALE, 2013).

Dessa forma, a Estrada de Ferro Carajás tem papel central na exportação de minério de ferro de alta qualidade e torna-se uma força importante na retomada do crescimento econômico brasileiro.

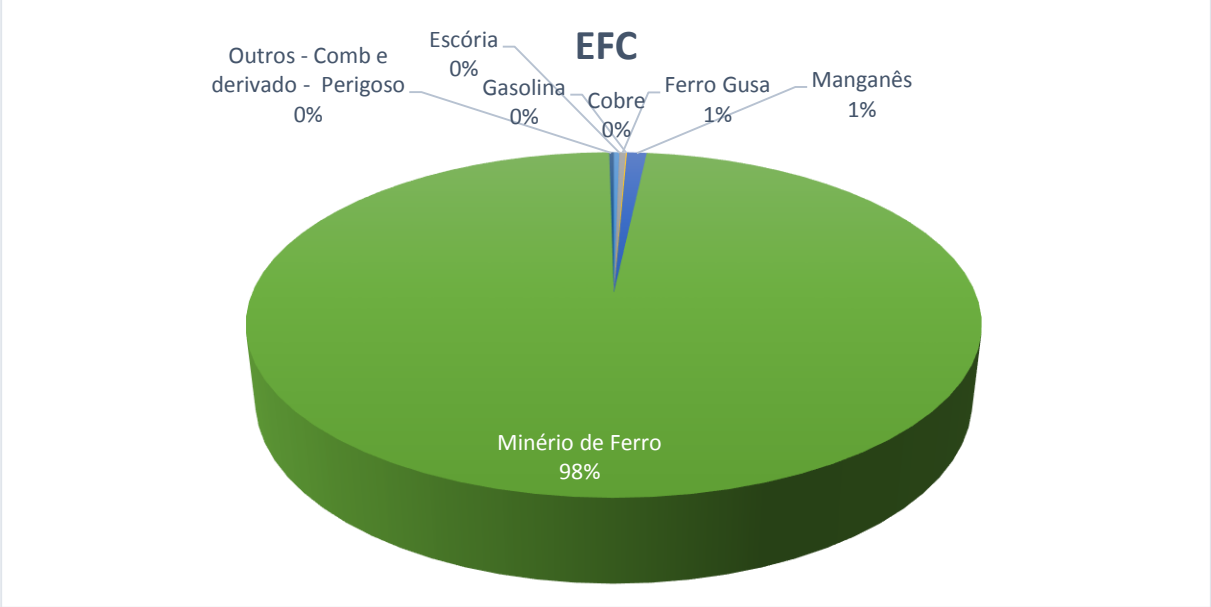

Figura 4.7: Produtos Transportados em 2016 pela EFC (SAFF, 2017) - adaptado

Figura 4.8: Ferrovia Estrada de Ferro Carajás (SAFF, 2017)

4.3 CÁLCULO DO NÚMERO DE TRENS QUE PERCORREM OS TRECHOS ENTRE PÁTIOS DE CRUZAMENTO

Para todas as metodologias em questão, há uma variável essencial ao cálculo da ocupação diária das vias férreas: o número real de trens que trafegou na malha. No caso concreto, será utilizado o ano de 2016.

No entanto, o SAFF não possui essa informação de forma direta. Assim, para a obtenção do valor desejado, fez-se a consulta de trens formados do mês de maior movimentação de cargas no ano de 2016.

Com o par origem e destino de estações de trens formados e as estações existentes na malha, apresentadas de forma encadeada, fez-se um programa, em Excel, capaz de, a partir da origem, reconhecer a linha na malha ferroviária e rotear o caminho mínimo para se chegar à estação de destino.

Dessa forma foi possível calcular o número de trens que percorreu cada trecho entre pátios de cruzamento, tomando o devido cuidado para que, nesse roteamento, também fosse considerado o sentido de tráfego dos trens formados, possibilitando a análise do sentido predominante de tráfego da ferrovia.

O número final de trens que trafegaram entre cada pátio de cruzamento no ano de 2016 é apresentado nas Tabela 8.1, 8.2 e 8.3 do **ANEXO B**.

4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA UIC - 406R

Como já descrito no item 3.1, a metodologia UIC - 406R propõe-se a medir a taxa percentual de ocupação da via a partir da compressão das *timetables* e consideração de *buffertimes* adicionais.

A primeira hipótese adotada para a aplicação da metodologia em questão aos corredores listados anteriormente é em relação às *timetables*. Apesar das concessões brasileiras trabalharem sob um sistema de agenda de trens diários, estas não são rigorosamente seguidas, dado o tipo de operação por elas realizada - transporte de carga -, em que não há uma pontualidade rigorosa como ocorre no transporte de passageiros. Dessa forma, a variável **A** da Equação (1), referente ao tempo de ocupação da infraestrutura, será simplesmente o tempo médio de trânsito entre duas estações de cruzamento consecutivas multiplicada pelo número de trens que percorreu o trecho em questão em cada um dos sentidos (ida e volta), uma vez que esse tempo desconsidera possíveis ineficiências e não contabiliza tempos de carga/descarga, manobra e licenciamento dentro dos pátios de cruzamento. Essa hipótese segue o método de compressão de *timetable* proposto pela UIC - 406R, onde os tempos de carregamento e licenciamento são comprimidos e reconsiderados em momento posterior.

O *buffertime* será calculado segundo a metodologia de **Schwanhäußer**, assim como descrito no item 3.1, considerando como valor de ocupação de via ρ de 0,618 - que representa um trem em fila no pátio de cruzamento - valor esse, dentro do intervalo proposto pela UIC na Tabela 3.1. O tempo de *headway* t_a será o próprio tempo de trânsito entre estações consecutivas.

O tempo de *crossing buffer* será considerado como o tempo de licenciamento dentro dos pátios de cruzamento. Esse tempo é informado pelas concessionárias na Declaração de Rede.

Por fim, será considerado um tempo adicional para manutenção programada de via, também informado na Declaração de Rede. Este tempo de manutenção programada será subtraído do tempo total de disponibilidade de via, que é de 1440 minutos.

Por ser uma metodologia de otimização, os resultados de ocupação percentual de via serão todos divididos por 0,75, dado que essa é a ocupação máxima prevista na Tabela 3.1 para operação mista, possibilitando a comparação com as outras metodologias analíticas listadas no

corpo da presente monografia. Encontram-se, assim, na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6 do **ANEXO C** os resultados finais de ocupação viária.

4.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE COLSON

Assim como descrito no item 3.2 desta monografia, Colson é uma metodologia analítica, tendo como principal resultado o número máximo de trens que podem percorrer um trecho entre seções de cruzamento ou seções de bloqueio em um dia. Considerando, assim, o que foi exposto no item 3.2.1, é possível calcular a capacidade de tráfego ferroviário considerando ineficiências inerentes a esse sistema de transporte.

Os tempos de trânsito, assim como todas as seções entre pátios de cruzamento e suas características constam na Tabela 8.1, Tabela 8.2 e Tabela 8.3.

Para o índice de eficiência da ferrovia referente à gestão de recursos operacionais - K2, será utilizada a proposta inicial da ANTT constante no **ANEXO A** desta monografia para a Estrada de Ferro Carajás, e não o valor médio utilizado pela Agência após avaliar recurso interposto pela concessionária. Isso porque, ao utilizar o valor aprovado na Declaração de Rede de 2017 (K2 = 0.715), por exemplo, se chegaria a valores de ocupação demasiadamente elevadas para essa concessionária, o que *a priori* não se mostra razoável. Para os corredores Rondonópolis - Santos e Uberaba - Ribeirão Preto, serão utilizados os fatores de eficiência K2 aprovados na Declaração de Rede 2017.

Assim, a soma final dos *scores* e o respectivo índice de eficiência K2 de cada uma das ferrovias a serem estudadas por esta seção constam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Scores individuais e finais para os critérios utilizados, sistemas de sinalização e índices de gestão dos recursos operacionais K2, por concessionária

FERROVIA		INTERTRAVAMENTO	BLOQUEIOS	CCO	GPS	RÁDIO	CHAVES DE MOLA	CHAVES COMANDADAS	SINAIS FÍSICOS	CIRCUITOS DE VIA	CONTADORES DE EIXOS	ATUAÇÃO NO MATERIAL RODANTE	SCORE FINAL	SINALIZAÇÃO	K2
Rumo	**RMN**	2	1	2	0	1	0	2	2	1	1	0	12	CTC	**0,72***
	RMP	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	7	ABS	**0,75***
FCA		0	0	1	1	1	1	1	2	0	0	1	8	ABS	**0,67***
EFC		1	1	1	1	1	0	2	2	1	0	2	12	CTC	**0,80**

*Valores aprovados na Declaração de Rede 2017
Fonte: ANTT/INECO

Os resultados obtidos pela aplicação da metodologia de Colson encontram-se na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6 do **ANEXO C**. Para a metodologia de Colson, a ocupação de via será calculada como a razão entre o número de trens por dia que percorreram a seção em questão pela Capacidade Prática calculada.

4.6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA UIC - 405R

Assim como a metodologia de Colson, sendo a 405R uma metodologia analítica, o principal resultado obtido a partir desta será o número de trens que percorrem um trecho entre pátios de cruzamento ou seções de bloqueio em um dia.

Para a definição da variável t_a (min), assim como exposto no item 3.3 e na Equação (17), serão consideradas as combinações de tipos de trens presentes na linha. A hipótese adotada para o corredor Rondonópolis - Santos e para a Estrada de Ferro Carajás é de que existem dois trens tipo de carga; um mais lento, que representa o trem carregado em direção ao porto e um mais rápido, que representa o movimento do porto para o interior do país. Para ambos os casos, constata-se uma velocidade média maior em trens saindo do porto em direção ao interior do país. Para o corredor Uberaba - Ribeirão Preto essa diferença de velocidade não foi constatada,

não sendo necessária a consideração de dois trens tipo, um mais lento (carregado) e outro mais rápido (vazio), nesse corredor.

A margem de expansão t_b (min) é calculada a partir da teoria de filas e utiliza-se do mesmo fator ρ presente no cálculo de ocupação de via da metodologia UIC - 406R. Assim, ρ será considerado como 0,618 e a partir dessa consideração será calculado o valor de t_b.

Por fim, a variável t_c (min) será calculada como o número de seções de bloqueio multiplicado por 0,25, assim como definido pela metodologia. Este fator terá efeito somente na Estrada de Ferro Carajás, visto que essa é a única a operar com trechos entre pátios com diversas seções de bloqueio.

Os resultados referentes à aplicação da metodologia UIC - 405R serão apresentados na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6 do **ANEXO C**. Para a metodologia UIC - 405R, a ocupação de via será calculada como a razão entre o número de trens por dia que percorreram a seção em questão pela Capacidade Prática calculada.

4.7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PELA RENFE

De forma similar à metodologia UIC - 406R, a metodologia RENFE leva em consideração, para o cálculo de capacidade de tráfego, o número real de trens que percorre a malha. A partir desse valor, obtido através do descrito no Item 4.3, é possível calcular o tempo total de ocupação real da malha, em minutos. Em posse do número real de trens que percorre a malha e sua ocupação real, calcula-se um valor adicional de trens, que pode ser adicionado à seção em estudo, a partir da Equação (32); de forma que toda a janela de tempo (24 horas) seja ocupada.

Os resultados referentes à aplicação da metodologia RENFE serão apresentados na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6 do **ANEXO C**. Para a metodologia em questão, a ocupação de via será calculada como a razão entre o número de trens por dia que percorreram a seção em questão pela Capacidade Prática calculada.

4.8 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PELA TRF

Novamente, de forma análoga à metodologia de Colson, o método proposto pela Transportation Research Forum - TRF busca, a partir de um equacionamento matemático, apresentar a capacidade em número de trens que percorrem uma determinada seção por dia.

Esta leva em conta a extensão do trecho entre pátios de cruzamento ou entre seções de bloqueio (L_b); extensão do trem-tipo utilizado na ferrovia (L_t), sendo este definido a partir do trem com a maior recorrência segundo a Declaração de Rede para o exercício de 2017; o número de sinais visuais de via, sendo esses os dois sinais de entrada e saída e o intermediário de licenciamento; velocidade média do trecho (V_{md}), definida como a média das velocidades crescentes e decrescentes; e o fator de eficiência E_f, definido como o valor de K2 referente à gestão de recursos operacionais na metodologia de Colson.

Os resultados referentes à aplicação da metodologia proposta pela TRF serão apresentados na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6 do **ANEXO C**. Para a metodologia em questão, a ocupação de via será calculada como a razão entre o número de trens por dia que percorreram a seção em questão pela Capacidade Prática calculada.

4.9 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GRÁFICA DE MEDIÇÃO DE CAPCIDADE DE TRÁFEGO UNIFORME

Apesar desta ser uma metodologia gráfica, a aplicação desta, em termos práticos, não o será; tornando-se, assim, uma metodologia totalmente analítica.

Assim, para a aplicação da metodologia gráfica de medição de capacidade de tráfego uniforme, será considerado os trens que percorrem as malhas neste estudo de caso respeitam dois padrões de operação; a operação de tráfego para a exportação - normalmente mais lenta - e a operação de tráfego para a importação - operação mais rápida. Dessa forma, a capacidade de tráfego será calculada nos termos da Equação (23). O tempo total de ocupação viária Tpg,, correspondente ao somatório $\sum_{i=1}^{n} N_i T_i$, será dado pela multiplicação dos tempos de trânsito de trens carregados pelo número de trens carregados, somados ao tempo de trânsito de trens vazios multiplicado pelo número de trens vazios que percorrem a malha na janela de tempo definida. Além disso, o Tvp, corresponderá ao tempo de via parado programado para a manutenção, assim como exposto nas Tabela 8.1, 8.2 e 8.3. Por fim, apesar de a metodologia em tela sugerir fatores de eficiência operacional entre 0,87 e 0,98, entende-se que esses valores não correspondem à realidade operacional das ferrovias brasileiras e os fatores a serem utilizados serão aqueles definidos na metodologia de Colson.

5 ANÁLISE GERAL DE RESULTADOS

Neste capítulo serão indicados apenas os resultados referentes aos trechos considerados "gargalos" de operação. Os resultados completos da aplicação das metodologias constam na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6 da seção **ANEXO C**.

Cabe destacar ainda que os dados utilizados para a aplicação das metodologias foram retirados da consulta Entre Pátios do módulo de Declaração de Rede do SAFF para o ano de 2017, à exceção do índice de eficiência K2, assim como descrito no Item 4.5; sendo esses dados informados pelas concessionárias e auditados pela ANTT.

Para as seções subsequentes, será feita uma análise primeiramente prática dos principais gargalos logísticos dentro dos corredores estudados, observados através da aplicação das metodologias descritas nesta monografia. Por fim, no capítulo seguinte, será feita uma análise estatística, de forma a avaliar a aderência das metodologias aos valores resultantes da metodologia de Colson, aplicada segundo o descrito no Item 4.5 e atualmente adotada pela ANTT.

5.1 ANÁLISE DO CORREDOR RONDONÓPOLIS-SANTOS

O corredor Rondonópolis - Santos, assim como descrito no item 4 desta monografia corresponde ao principal corredor de transporte tanto da Rumo Malha Norte quanto da Rumo Malha Paulista, totalizando aproximadamente 1655 km, ligando o estado do Mato Grosso ao porto de Santos.

A Tabela 8.1, no **ANEXO B**, apresenta todas as estações, distâncias, tempos de trânsito, licenciamento dentre outras informações relevantes ao estudo de caso e a Tabela 8.4 do **ANEXO C** apresenta os resultados finais de capacidade prática/instalada e ocupação percentual de via para todas as metodologias listadas.

Este corredor, logo em sua porção pertencente à Rumo Malha Norte apresenta duas seções entre pátios de cruzamento que, no caso da metodologia 406R, ultrapassam seu limite de operabilidade, assim como definido na Tabela 3.1. São esses os trechos de Alto Araguaia a Marco Vedovelli e Marco Vedovelli a T. Olacyr F. Moraes. Percorrendo a sua extensão ferroviária, o corredor em tela apresenta ainda outras 23 seções entre pátios de cruzamento com elevado percentual de ocupação viária. Além disso, para 5 das 6 metodologias apresentadas, os valores de ocupação viária chegam, ou até mesmo ultrapassam o valor de 100% de ocupação.

O possível paradoxo onde a taxa de ocupação apresenta-se acima de 100% nada mais é que uma indicação de que a ferrovia não mais opera em regime de eficiência, incorporando atrasos constantes, baixas velocidades de operação, formação de filas nos pátios de cruzamento (LANDEX, 2008), e indicando a má qualidade da prestação do serviço.

A situação exposta dá-se, principalmente, por grandes extensões entre pátios de cruzamento ou trechos com velocidades de tráfego extremamente baixas, todas em linha singela.

Analisando de forma mais detalhada a porção do corredor pertencente à Rumo Malha Paulista, há um decréscimo na taxa de utilização viária nos trechos entre pátios mais próximos à Rumo Malha Norte, dada a reduzida extensão destes e a manutenção de velocidade quase constante nessa seção do corredor. Assim, os trechos com elevada taxa de utilização correspondem a trechos em áreas urbanas com baixa velocidade operacional, em média de 29 km/h, inferior à média das velocidades de trânsito do corredor, que é de 37 km/h.

Por fim, considerando o gargalo do corredor como sendo o trecho de maior ocupação viária, tem-se a seção entre pátios de Mirassol a Rio Preto Paulista como gargalo; sendo este um trecho de conflito urbano e com baixíssima velocidade de operação - 6,52 km/h, além de ser um trecho reconhecidamente perigoso, com recorrência de acidentes graves, inclusive com oito mortes em 2013 segundo notícia veiculada no sítio G1.globo.com (JORNAL HOJE, 2013).

A Tabela 5.1 apresenta os trechos relatados acima.

Tabela 5.1: Trechos Entre Pátios Considerados Saturados no Corredor Rondonópolis - Santos

Estação A	Estação B	406R	COLSON	405R	RENFE	TRF	Gráfica
Rondonópolis	**São Francisco**	76,9%	76,5%	82,4%	48,3%	68,8%	68,4%
Fazenda Espigão	**Fazenda Boa Esperança**	82,0%	79,0%	82,9%	48,7%	68,2%	70,9%
Alto Araguaia	**Marco Vedovelli**	105,6%	104,8%	113,3%	60,2%	96,1%	95,7%
Marco Vedovelli	**T. Olacyr F. Morais**	109,5%	108,6%	118,1%	61,3%	100,0%	99,5%
Baus	**Lage**	92,7%	94,0%	102,2%	58,3%	85,0%	84,3%
Lage	**Humberto Eudes**	86,3%	87,7%	94,6%	56,2%	78,4%	77,9%
Agente João Amorim	**Viaduto**	87,0%	88,4%	96,0%	56,2%	79,4%	78,8%
Viaduto	**Indiaizinho**	82,2%	83,7%	92,5%	55,1%	74,5%	74,1%
Indiaizinho	**Morangas**	98,5%	99,2%	107,9%	59,5%	90,4%	89,7%
Morangas	**Inocencia**	90,4%	90,8%	97,4%	56,6%	81,4%	81,2%
Inocencia	**Quiteria**	100,9%	100,6%	111,0%	60,2%	91,1%	91,1%
Quiteria	**Aparecida do Taboado**	90,2%	90,8%	97,4%	56,6%	81,5%	81,2%
Pedreira	**Marco Inicial**	96,2%	97,1%	105,7%	58,9%	88,2%	87,6%
Jales	**Estrela D`Oeste**	77,4%	76,7%	82,3%	52,4%	68,8%	67,0%
Estrela D`Oeste	**Fernandopolis**	86,4%	84,6%	90,5%	55,2%	76,7%	74,9%
Ecatu	**Tanabi**	101,7%	101,2%	108,7%	63,0%	92,1%	90,2%
Mirassol	**Rio Preto Paulista**	129,2%	126,7%	135,9%	69,4%	128,4%	115,4%
Catiguá	**Catanduva**	96,3%	97,5%	104,9%	63,1%	88,9%	85,7%
Catanduva	**Pindorama**	79,9%	81,8%	86,8%	57,6%	72,1%	70,0%
Pindorama	**Santa Adélia**	83,7%	86,1%	93,2%	59,7%	77,1%	74,2%
Santa Adélia	**Fernando Prestes**	78,4%	81,3%	88,1%	58,1%	71,5%	69,4%
Cândido Rodrigues	**Taquaritinga**	102,7%	103,3%	111,2%	64,7%	94,4%	91,6%
Bueno de Andrade	**Tutóia**	88,8%	90,6%	97,7%	61,1%	80,9%	78,8%
Washington Luís	**São Carlos**	82,7%	86,0%	93,1%	60,4%	77,0%	73,7%

5.2 ANÁLISE DO CORREDOR RIBEIRÃO PRETO - UBERABA

O corredor Ribeirão Preto - Uberaba, assim como descrito no item 4 desta monografia, corresponde a um dos principais corredores de transporte da Ferrovia Centro-Atlântica, com uma extensão total de 180,549 km.

A Tabela 8.2 do **ANEXO B** apresenta todas as estações, distâncias, tempos de trânsito, licenciamento dentre outras informações relevantes ao estudo de caso e a Tabela 8.5 do **ANEXO C** apresenta os resultados finais de capacidade prática/instalada e ocupação percentual de via.

O corredor em questão apresenta, em toda a sua extensão, linha singela bidirecional em bitola métrica e apresenta uma média de utilização para as 8 (oito) seções entre pátios de 70,6%.

O primeiro problema de ocupação anuncia-se logo no terceiro trecho do corredor, entre as estações Coronel Pereira Lima e Orlândia, apresentando a segunda menor velocidade média de tráfego e uma ocupação de via alta. Ainda, outros 4 trechos apresentam utilização viária superior a 75% para pelo menos duas metodologias das 6 aplicadas.

O gargalo do corredor apresenta-se entre as estações Ituverava e Aramina, sendo esta uma área de conflito urbano e excessivamente longa, com 34,6 km, contra uma média de 18 km de extensão entre pátios de cruzamento no corredor em tela.

Novamente, assim como evidenciado no corredor Rondonópolis - Santos, trechos excessivamente longos ou com ocorrência de conflitos urbanos oneram a eficiência da ferrovia e reduzem de forma sensível a capacidade de tráfego. Assim, dentre os oito trechos analisados, cinco apresentam situações de saturação. Esses serão expostos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Trechos Entre Pátios Considerados Saturados no Corredor Ribeirão Preto - Uberaba da Ferrovia Centro-Atlântica

Estação A	Estação B	406R	COLSON	405R	RENFE	TRF	Gráfica
Ribeirão Preto	**Jardinópolis**	77,5%	75,7%	79,1%	47,2%	71,8%	70,8%
Coronel Pereira Lima	**Orlândia**	86,1%	83,7%	88,0%	49,9%	79,9%	78,8%
Orlândia	**São Joaquim da Barra**	79,3%	76,7%	79,2%	47,5%	72,2%	71,8%
Ituverava	**Aramina**	95,3%	89,6%	93,6%	47,8%	86,1%	85,5%
Babaçu	**Uberaba**	77,7%	72,8%	75,2%	42,3%	69,6%	68,7%

5.3 ANÁLISE DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS

A Estrada de Ferro Carajás - EFC, assim como descrita nessa monografia, possui aproximadamente 997 km de extensão, localizada no norte do país.

A ferrovia concedida à Vale S/A tem sua matriz de transporte concentrada em minério de ferro, representando mais de 98% do universo de cargas transportadas. Esta é a ferrovia mais eficiente do Brasil, comparando-se, inclusive, às ferrovias Classe I dos Estados Unidos (CALDAS, *et al.*, 2012).

Quanto ao nível de ocupação, praticamente toda a extensão da EFC encontra-se em um nível elevado, à exceção do trecho Nova Vida - Açailândia, que há pouco foi duplicado.

Ainda, há de se comentar que o pátio de Açailândia é o intercâmbio entre a Estrada de Ferro Carajás e a Ferrovia Norte Sul, e é neste pátio que a carga proveniente da Ferrovia Norte Sul tem acesso à EFC. Como quase a totalidade da carga que trafega em Direito de Passagem/Tráfego Mútuo com origem na Norte Sul tem como destino o Porto de Itaqui, os trechos Rosário - Santa Inês e Ponta da Madeira - Rosário - que possuem tráfego de minério e

da carga em direito de passagem são os mais saturados de toda extensão da EFC. Como parte do projeto S11D, todos os trechos da Estrada de Ferro Carajás apresentam projetos de duplicação (VALE, 2013).

Tabela 5.3: Ocupação Viária de Todos os Entre Pátios Estrada de Ferro Carajás

Estação A	Estação B	406R	COLSON	405R	RENFE	TRF	Gráfica
Ponta da Madeira	**Rosário**	49,1%	47,5%	59,8%	46,5%	43,6%	42,4%
Rosário	**Santa Inês**	97,2%	95,7%	108,9%	72,4%	85,4%	87,4%
Santa Inês	**Nova Vida**	82,3%	82,1%	94,3%	69,0%	72,8%	73,7%
Nova Vida	**Açailândia**	43,6%	45,3%	45,8%	51,8%	36,7%	36,9%
Açailândia	**Marabá**	82,2%	80,2%	94,2%	66,5%	77,7%	72,8%
Marabá	**Serra Leste**	71,1%	70,3%	94,2%	66,5%	47,7%	62,9%
Serra Leste	**Entrocamento Serra Sul**	79,1%	77,5%	85,7%	63,9%	66,6%	70,2%
Entroncamento Serra Sul	**Paraupebas**	77,6%	76,3%	84,6%	63,4%	64,0%	69,1%
Paraupebas	**Carajás**	77,8%	76,5%	84,8%	63,5%	130,6%	69,2%
Entroncamento Serra Sul	**Serra Sul**	75,4%	74,2%	86,2%	63,4%	68,6%	67,1%

6 ADERÊNCIA ESTATÍSTICA

Para a verificação da aderência estatística das metodologias listadas no âmbito dessa monografia à metodologia de Colson, base utilizada para análises da ANTT e aplicada conforme exposto no Item 4.5, far-se-á testes de hipóteses de forma a aceitar ou refutar a suposição de que certa metodologia se mostra aderente à metodologia utilizada pela Agência. As comparações serão realizadas com base na ocupação viária, calculada a partir da razão entre o número real de trens que trafegou no corredor em questão no ano de 2016 e a capacidade instalada calculada por dada metodologia.

6.1 ANÁLISE DESCRITIVA

A presente seção contemplará uma análise gráfica dos resultados obtidos para cada um dos corredores. O objetivo é obter uma indicação, em termos descritivos, acerca de quais metodologias se mostram aderentes àquela adotada pela Agência.

Para tanto, incialmente, serão apresentados os *box-plots* das distribuições estatísticas dos valores de ocupação obtidos em cada segmento entre pátios ou entre seções de bloqueio pelas diferentes metodologias.

Em segundo momento, serão apresentados os *box-plots* obtidos a partir das diferenças, em cada uma das seções entre pátios ou de bloqueio, entre os valores obtidos pela metodologia adotada pela ANTT (Colson) e as demais metodologias descritas nesse trabalho. Esses últimos gráficos são melhores para a visualização dos resultados, dado que não se está a comparar as médias gerais obtidas pelas metodologias, mas se as metodologias fornecem resultados de ocupação coerentes/semelhantes para as diferentes seções entre pátios ou seções de bloqueio. Dessa forma, quanto mais as médias entre as diferenças estiverem próximas a 0, maior a semelhança entre as metodologias em análise.

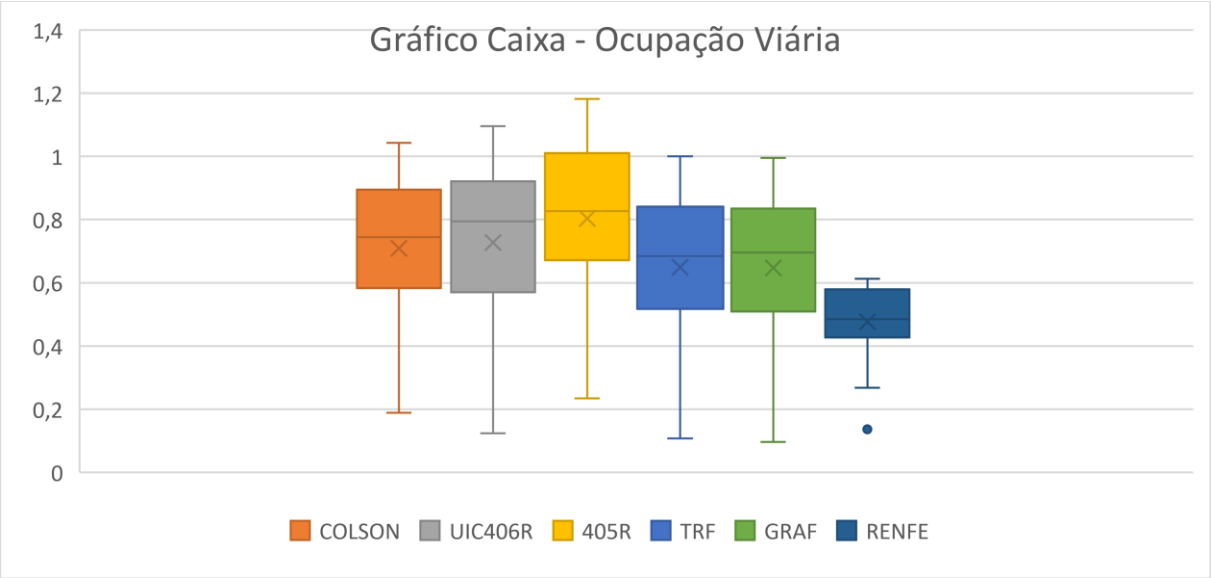

Figura 6.1: *Box Plot* das Ocupações Resultantes da Rumo Malha Norte

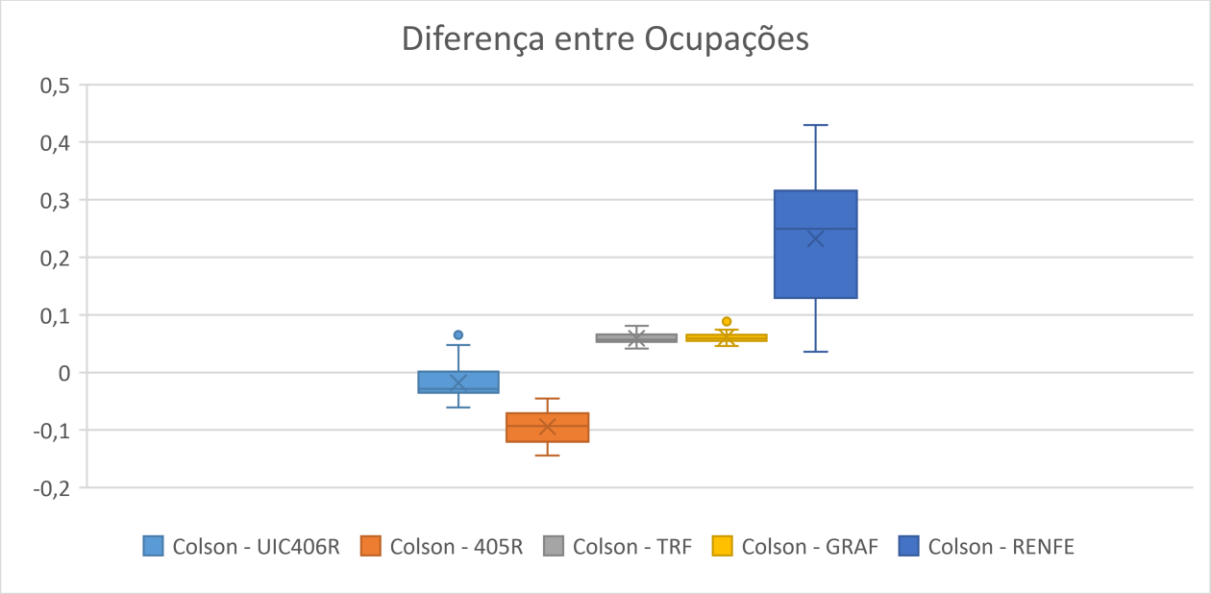

Figura 6.2: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes da Rumo Malha Norte

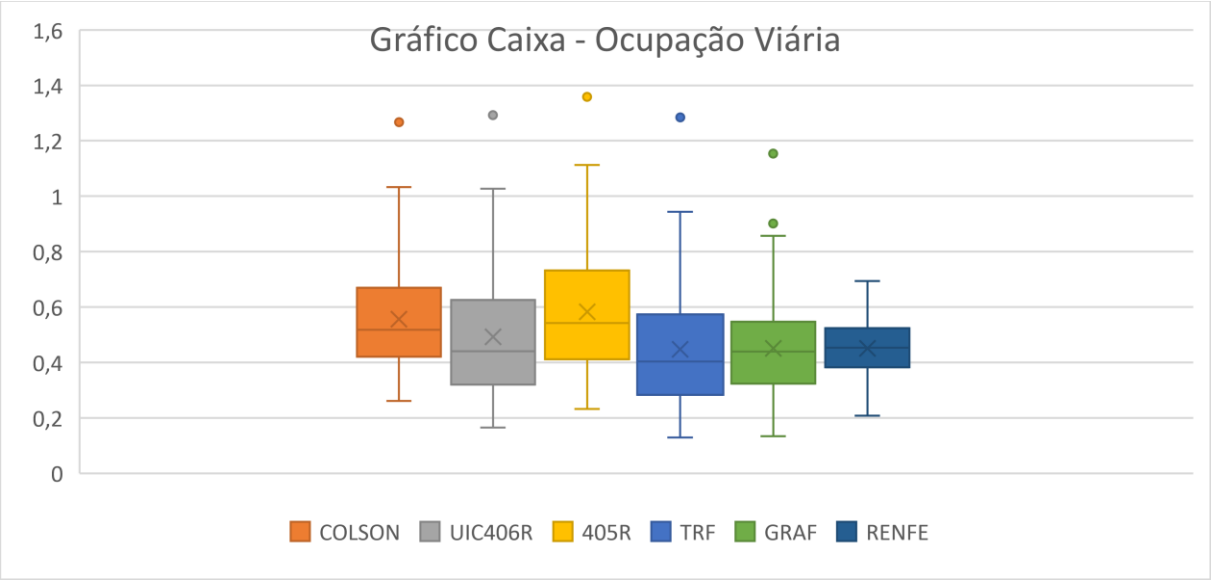

Figura 6.3: *Box Plot* das Ocupações Resultantes da Rumo Malha Paulista

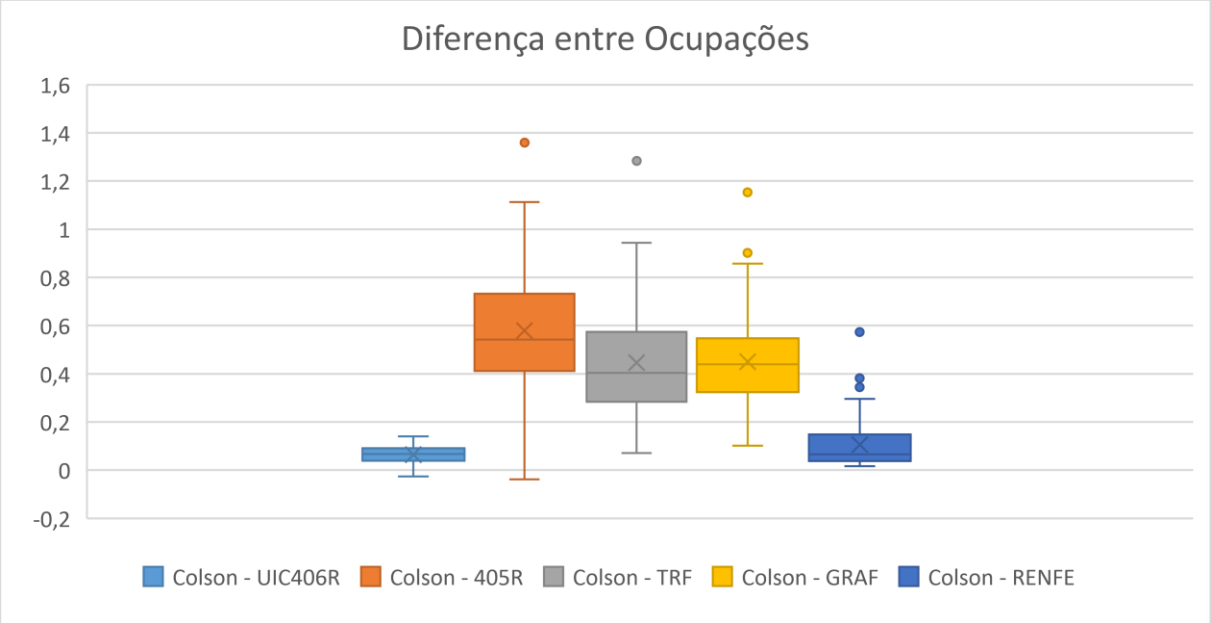

Figura 6.4: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes da Rumo Malha Paulista

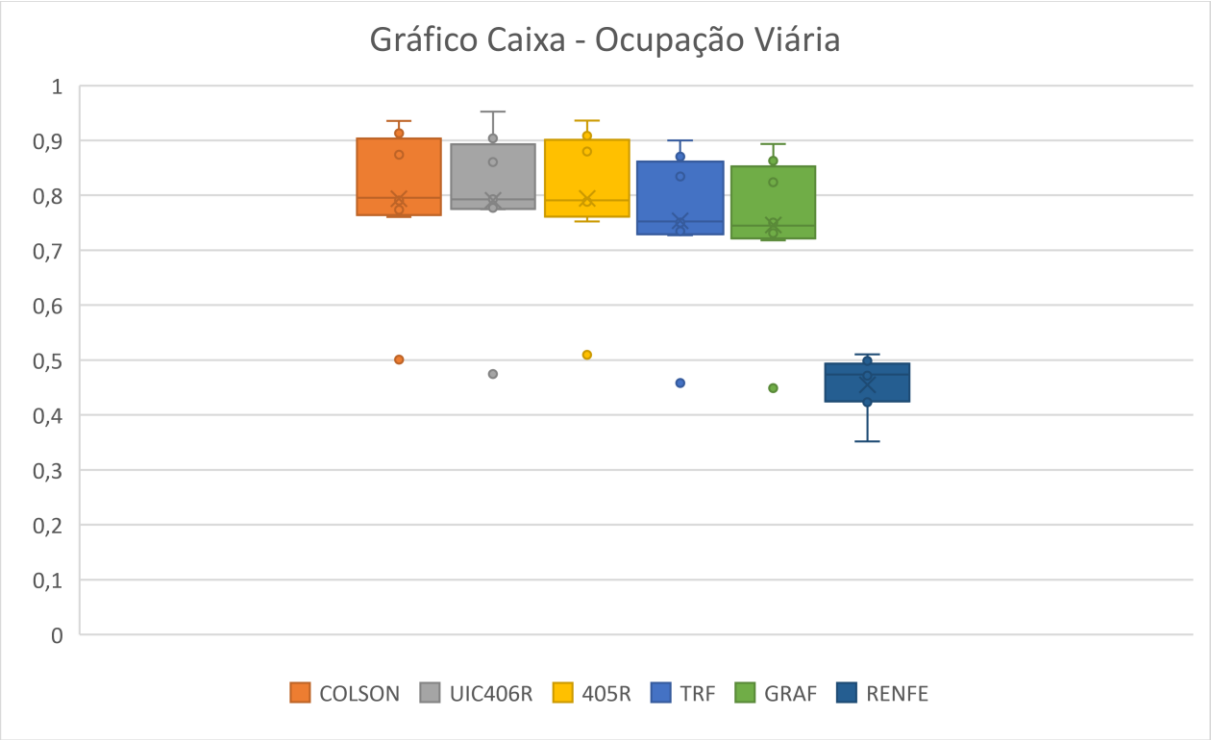

Figura 6.5: *Box Plot* das Ocupações Resultantes do Corredor Uberaba - Ribeirão Preto

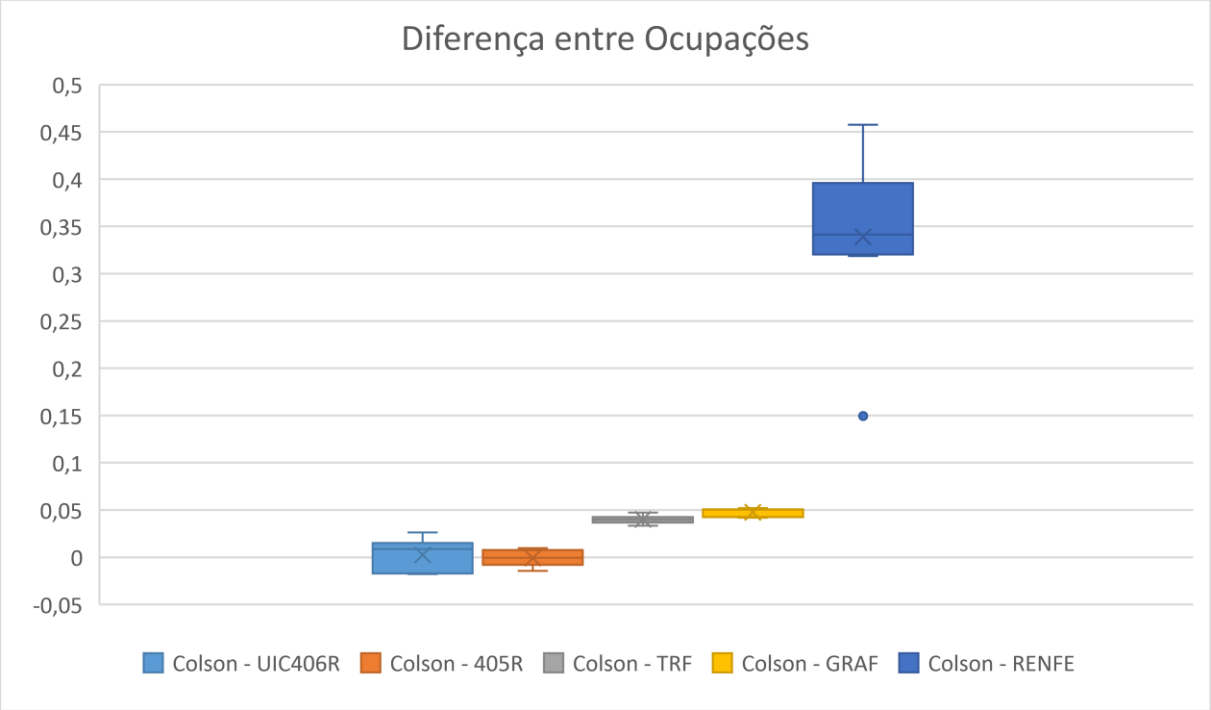

Figura 6.6: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes do Corredor Uberaba - Ribeirão Preto

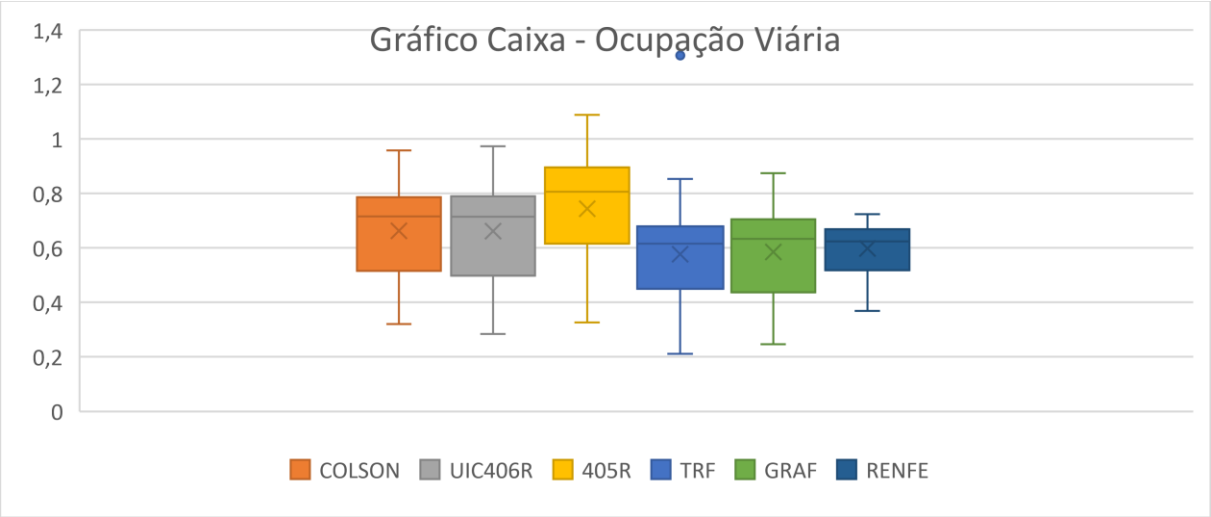

Figura 6.7: *Box Plot* das Ocupações Resultantes da Estrada de Ferro Carajás

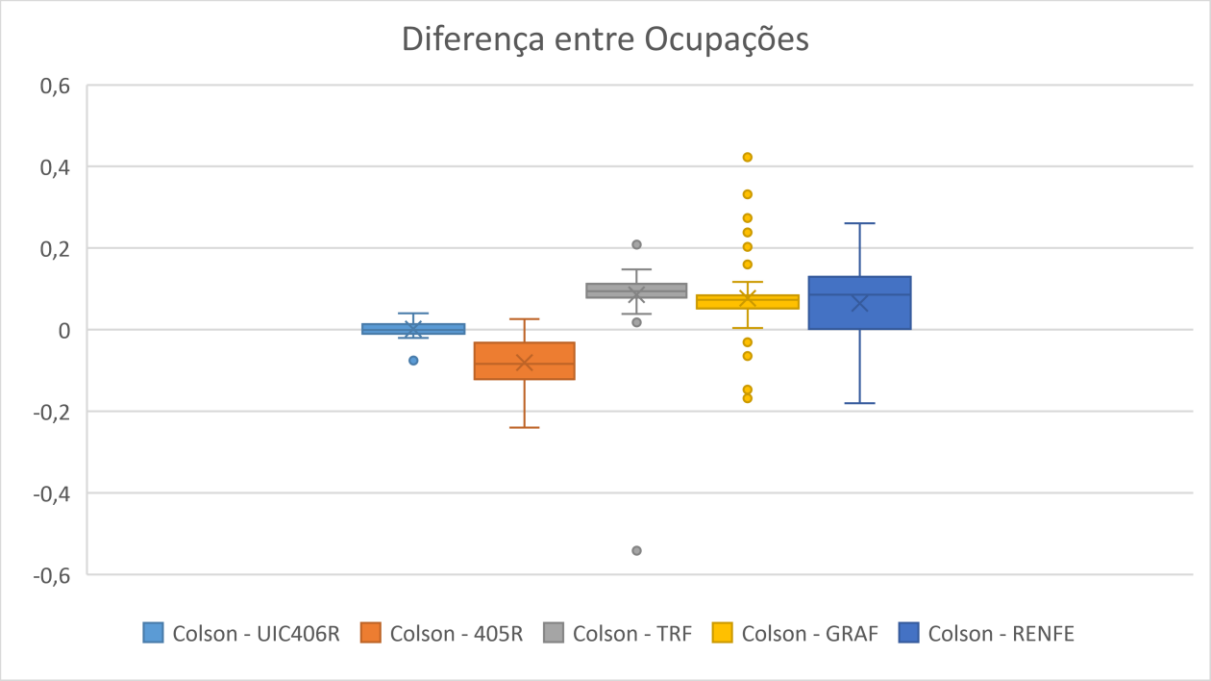

Figura 6.8: *Box Plot* da Diferença entre Ocupações Resultantes da Estrada de Ferro Carajás

Dessa forma, a partir dos *box plots* apresentados, é possível perceber semelhanças entre a metodologia utilizada pela ANTT (Colson) e a metodologia proposta pela UIC - 406R, dado que a média da diferença entre as observações é próxima a 0 nos corredores estudados. Para as outras metodologias, tem-se a indicação de que aparentemente a UIC - 405R subdimensiona a Capacidade Prática para os corredores Estrada de Ferro Carajás e para a parte pertencente à Rumo Malha Norte do corredor Rondonópolis - Santos. Quanto às metodologias TRF e Gráfica, essas apresentam, apesar das diferentes premissas de cálculo adotadas, resultados bastante próximos ao se analisar os *box plots*.

6.2 TESTES DE HIPÓTESE

Feita uma determinada afirmação sobre uma amostra, deseja-se saber se os resultados provenientes contrariam ou confirmam esta afirmação. Sendo a afirmação a respeito da aderência dos resultados provenientes de duas metodologias distintas, esta deve ser verificada por um teste estatístico de hipóteses.

Dessa forma, o objetivo do teste de hipótese é fornecer uma metodologia que apoie ou refute uma hipótese formulada no campo substantivo do conhecimento (BUSSAB e MORETTIN, 2010).

A construção do teste de hipótese para um parâmetro populacional é dada pela avaliação de uma certa variável associada a essa população acerca de duas hipóteses que se faz sobre essa variável; a hipótese nula H_0 e a hipótese alternativa H_1. A hipótese nula traduz-se na ausência do efeito que se quer verificar e a hipótese alternativa traduz-se na hipótese que o investigador quer confirmar. Ainda, deve-se definir a probabilidade (nível de significância) de se rejeitar a hipótese nula quando ela é efetivamente verdadeira (SAMPAIO e LEONI, 2014). Assim, se o valor da estatística calculada com os dados presentes não pertencer à região crítica, não se rejeita a hipótese nula; caso contrário, rejeita-se a hipótese nula e, por conseguinte, aceita-se a denominada hipótese alternativa.

Ao testar a hipótese nula, chega-se a uma decisão de rejeitá-la ou não. Em caso de rejeição, opta-se pela hipótese alternativa (H_0).

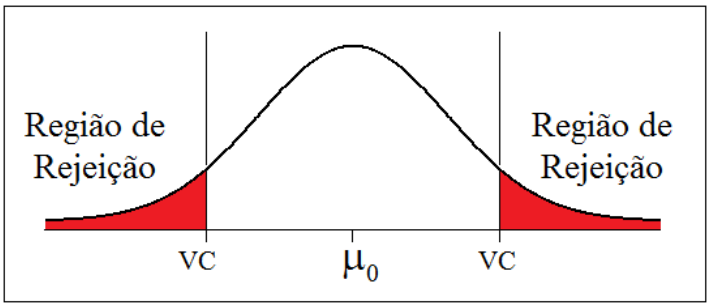

Figura 6.9: Intervalo de Rejeição para o Teste de Hipótese

As hipóteses serão testadas a partir da variável **ocupação viária**, apresentada na Tabela 8.4, Tabela 8.5 e Tabela 8.6, em relação aos resultados de ocupação viária da metodologia de Colson, visto que essa é a mesma metodologia adotada pela ANTT.

No caso concreto, o objetivo não é comparar se as médias gerais obtidas pelas metodologias em comparação são iguais, mas se as metodologias fornecem resultados de ocupação coerentes/semelhantes para as diferentes seções entre pátios ou seções de bloqueio.

Em termos práticos, a situação é semelhante àquela quando um medicamento é testado em diferentes indivíduos, e faz-se a medição de determinada taxa do paciente antes e depois do uso do medicamento. Nesse caso, não se deseja saber se o medicamento teve efeito em um indivíduo em específico, mas se houve diferença entre a medição antes e depois do medicamento para o grupo.

Os testes indicados para essas situações são os testes para observações pareadas - nos casos em análise, para cada seção entre pátios ou seção de bloqueio, tem-se um valor dado pela metodologia adotada pela Agência e outro pela metodologia cuja semelhança será testada.

Diante do exposto, são apresentados a seguir os resultados obtidos a partir do Teste T para amostras pareadas (que utiliza a suposição de normalidade das diferenças) e do Teste de Mann-Whitney (que não utiliza suposição sobre a distribuição das diferenças). Os resultados foram obtidos a partir do software estatístico R, com o uso dos pacotes “ggpubr” e “ggplot2”.

6.2.1 TESTE PARAMÉTRICO T PAREADO

Usado para comparações entre duas amostras, o Teste T compara as médias das observações, testando se a diferença entre os pares é estatisticamente diferente de zero (MANGIOFICO, 2016).

As hipóteses a serem testadas pelo Teste T serão as seguintes:

- Hipótese Nula (H_0): **Não há** diferença entre os resultados obtidos pela metodologia adotada pela ANTT e a metodologia testada;
- Hipótese Alternativa (H_1): **Há** diferença entre os resultados obtidos pela metodologia adotada pela ANTT e a metodologia testada.

Com as hipóteses de teste definidas, a interpretação dos resultados dá-se da seguinte forma: se **há** diferença entre os resultados obtidos pelas duas metodologias testadas, o p-valor observado será próximo de zero. Do contrário, o p-valor apresentará um valor elevado, e não será possível afirmar que as metodologias fornecem resultados diferentes. Para os estudos de caso da presente monografia, o nível de significância proposto será de 1%.

Os resultados do Teste T (p-valores) obtidos estão dispostos na Tabela 6.1 para cada um dos corredores do estudo de caso.

Tabela 6.1: p-valores Obtidos a Partir do Teste T

Metodologia	Malha Norte	Malha Paulista	Estrada de Ferro Carajás	Uberaba-Ribeirão Preto
	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor
UIC - 406R	2,43%	0,00%	46,80%	67,71%
UIC - 405R	0,00%	0,00%	0,00%	78,68%
TRF	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Gráfica	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RENFE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

A partir dos resultados de p-valor do Teste T, de forma a corroborar o exposto no Item 6.1, não se rejeita a hipótese H_0 de que não há diferença entre os resultados de ocupação obtidos pela metodologia UIC - 406R e pela metodologia utilizada pela ANTT, dado que a média da diferença entre as observações pareadas é 0 nos corredores estudados e os resultados de p-valor foram significativos, à exceção da parte pertencente à Malha Paulista do corredor Rondonópolis - Santos.

Ainda, o teste aplicado indica um distanciamento entre as metodologias TRF, Gráfica e RENFE da metodologia adotada como base para análises pela Agência.

6.2.2 TESTE NÃO PARAMÉTRICO DE MANN-WHITNEY PAREADO

Dada duas amostras, o Teste U de Mann-Whitney compara as medianas das observações testando se as amostras pertencem ou não à mesma população (MANGIOFICO, 2016).

No contexto da presente monografia, o teste é capaz de comparar os valores de ocupação viária, seção a seção, das diferentes metodologias. Se a forma e a distribuição dos valores de cada amostra forem semelhantes, o p-valor resultante será elevado (MANGIOFICO, 2016). As hipóteses adotadas para o Teste U de Mann-Whitney serão tais quais:

- Hipótese Nula (H_0): **Não há** diferença entre os resultados obtidos pela metodologia adotada pela ANTT e a metodologia testada;
- Hipótese Alternativa (H_1): **Há** diferença entre os resultados obtidos pela metodologia adotada pela ANTT e a metodologia testada.

Com as hipóteses de teste definidas, a interpretação dos resultados dá-se à semelhança do apresentado na Seção 6.2.1, da seguinte forma: se **há** diferença entre os resultados obtidos pelas duas metodologias testadas, o p-valor observado será próximo de zero. Do contrário, o p-valor apresentará um valor elevado, e não será possível afirmar que as metodologias fornecem

resultados diferentes. Para os estudos de caso da presente monografia, o nível de significância também será de 1%.

Os resultados do Teste U de Mann-Whitney (p-valores) obtidos estão dispostos na Tabela 6.2 para cada um dos corredores do estudo de caso.

Tabela 6.2: p-valores Obtidos a Partir do Teste Mann-Whitney

Metodologia	Malha Norte	Malha Paulista	Estrada de Ferro Carajás	Uberaba-Ribeirão Preto
	P-valor	P-valor	P-valor	P-valor
UIC - 406R	3,15%	0,00%	55,66%	100,00%
UIC - 405R	0,00%	0,00%	0,00%	74,22%
TRF	0,00%	0,00%	0,00%	0,78%
Gráfica	0,00%	0,00%	0,00%	0,78%
RENFE	0,00%	0,00%	0,00%	0,78%

A despeito do Teste U de Mann-Whitney não fazer suposição sobre a forma paramétrica da distribuição das diferenças, as conclusões a que se chega, a partir da análise dos p-valores resultantes, são semelhantes àquelas expostas no Item 6.2.1.

Assim, de forma a corroborar o exposto no Item 6.1, não se rejeita a hipótese de que não há diferença significativa entre a metodologia UIC - 406R e a metodologia utilizada pela ANTT, dado que a média da diferença entre as observações pareadas é 0 nos corredores estudados e os resultados de p-valor foram significativos, à exceção da parte pertencente à Malha Paulista do corredor Rondonópolis - Santos.

Ainda, o teste aplicado indica um distanciamento entre as metodologias TRF, Gráfica e RENFE da metodologia adotada como base para análises pela ANTT.

6.2.3 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Por fim, depreende-se dos resultados de p-valor obtidos pelos testes T e Mann-Whitney que independente do corredor a se analisar, a UIC 406R, aplicada nas bases do exposto no Item 4.4, é a metodologia cujos resultados mais se assemelham àqueles obtidos pela metodologia adotada pela ANTT. Quanto às demais, segundo já mencionado, estas se afastam da metodologia utilizada pela Agência, de forma que o p-valor para esses caso se aproxima de 0, levando à rejeição da hipótese nula H_0.

Quanto à Rumo Malha Norte, dado o valor resultante p-valor de 2,43% para o Teste T e 3,15% para o Teste U de Mann-Whitney, e considerando-se um nível de significância de 1%, não se rejeita a hipótese nula de que não há diferença entre os valores obtidos por ambas as metodologias. Deve-se ponderar, contudo, que o p-valor observado em ambos os testes foi

relativamente baixo. Se fossem considerados níveis de significância mais elevados (como 5%, valor comumente adotado em testes de hipóteses), a conclusão para esse corredor seria distinta.

Já em relação à parte pertencente à Malha Paulista do corredor Rondonópolis - Santos, onde nenhuma das metodologias testadas teve relação significativa com a metodologia de Colson, é possível concluir que possíveis inconsistências nas hipóteses de cálculo da metodologia de Colson tenham prejudicado os resultados finais de ocupação viária, principalmente em relação aos fatores de eficiência K1 e K2. Cabe ainda mencionar que, em análise da Declaração de Rede, há inconsistências quanto a distâncias entre pátios e suas respectivas velocidades; o que pode ter influenciado os resultados finais de ocupação viária.

Quanto à Estrada de Ferro Carajás, tem-se a indicação, dado os resultados apresentados no Capítulo 6, que o fator de eficiência K2 para este corredor deva ser de 0,8, assim como definido originalmente pela ANTT, e não 0,715 - média entre a proposição da Vale (K2=0,63) e a proposição da ANTT (K2=0,8) - que é o valor que tem sido utilizado nas Declarações de Rede. Entende-se, dessa forma, que a situação deve ser analisada pela Agência, a partir dos resultados ora obtidos.

Por fim, em relação ao corredor Uberaba - Ribeirão Preto, os testes de hipótese produziram um resultado significativo para a metodologia UIC 406R e UIC 405R quando comparadas à metodologia de Colson. No entanto, tais resultados podem ter sido influenciados pelo reduzido número de informações. Em análises futuras, sugere-se que se avalie uma maior extensão de linha, com vistas à obtenção de um maior número de observações, de modo a produzir resultados de p-valor mais confiáveis.

7 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Nesta monografia foi possível realizar um levantamento de diferentes metodologias da literatura técnica do setor ferroviário de capacidade de tráfego, e aplicá-las a corredores estratégicos de escoamento de cargas do Brasil.

Obteve-se como resultado da aplicação das metodologias os valores percentuais de ocupação viária para cada seção entre pátios de cruzamento dos corredores enumerados no Capítulo 4. Foi possível ainda, a partir de uma análise estatística, avaliar a aderência dos métodos de cálculo de capacidade de tráfego ferroviário estudados à metodologia de Colson, utilizada atualmente pela ANTT.

Dado o exposto por toda esta monografia e levando em conta a literatura técnica aqui referenciada, depreende-se dos resultados dos testes estatísticos que, independente do corredor a se analisar, a metodologia UIC 406R, aplicada nas bases do exposto no Item 4.4, é a metodologia cujos resultados mais se assemelham àqueles obtidos pela metodologia adotada pela ANTT. Esta se mostra uma boa indicação, tendo em vista se tratar de metodologia obtida a partir do aprimoramento de metodologia anterior (UIC 405R), e por ser atualmente utilizada na União Europeia.

Quanto às demais metodologias, verificou-se que estas distanciam-se da metodologia adotada pela ANTT, dado o baixo p-valor obtido a partir dos testes estatísticos de hipótese e a média da diferença dos valores de ocupação entre essas e Colson diferente de 0, evidenciada pelos *box plots* apresentados.

Dessa forma, propõe-se que, adicionalmente à metodologia de Colson, utilize-se a metodologia UIC 406R como subsídio teórico para a medição de capacidade de tráfego nas análises conduzidas pela Agência, dada a semelhança verificada a partir dos testes estatísticos dessas duas metodologias.

Dada a complexidade do assunto e a necessidade de estudos mais aprofundados, propõe-se, ainda, o que se segue:

- Adoção, como medida complementar aos estudos de capacidade de tráfego conduzidos pela ANTT, da metodologia UIC 406R como parâmetro de análise;
- Reavaliação dos índices de eficiência da Estrada de Ferro Carajás, de forma a aprofundar os estudos acerca desses e possível alteração dos índices adotados na Declaração de Rede dessa concessionária;

- Estudo de outros corredores logísticos não contemplados por esta monografia, como: a MRS, importante corredor de transporte de minério de ferro com operação diferente das demais concessionárias; Ferrovia Norte Sul, dado o processo de subconcessão em que se encontra atualmente; Estrada de Ferro Vitória Minas, importante corredor de transporte de minério de ferro, pertencente ao grupo econômico Vale.
- Aplicação de outras metodologias de cálculo de capacidade de tráfego ferroviário não contempladas por esta monografia; e
- Comparação dos resultados de ocupação viária das metodologias aqui indicadas com resultados de simulações de operação ferroviária.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, M. et al. **An assessment of railway capacity**. Valencia: ELSEVIER, 2006. 806 p.

ANTT. ANTT. **antt.gov.br**, 2017. Disponivel em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/Mapa_do_Subsistema_Ferroviario_Federal.html>. Acesso em: 23 mar. 2017.

BARAT, J. **A evolução dos transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE/IPEA, 1978.

BRINA, H. L. **Estradas de Ferro**. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 1982.

BUSSAB, W.; MORETTIN, P. **Estatística Básica**. 6. ed. Brasil: Saraiva, v. I, 2010.

CALDAS, M. et al. A Eficiência do Transporte Ferroviário de Cargas: Uma Análise do Brasil e dos Estados Unidos. **Simpósio Brasiliero de Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, p. 12, Setembro 2012.

CAMBRIDGE SYSTEMATICS. **National Rail Freight Infrastructure Capacity and Investment Study**. Cambridge: Association of American Railroads, 2007.

CASAVANT, K.; PRATER, M. **Study of Rural Transportation Issues**. Estados Unidos: U.S. Department Of Transportation, 2008. 29 p.

CIA. The World FactBook. **www.cia.gov**, 2014. Disponivel em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2121rank.html>. Acesso em: 22 Maio 2017.

CICAK, M. **METHODS FOR DETERMINING THROUGHPUT CAPACITY OF RAILWAY LINES USING COEFFICIENTS OF ELIMINATION**. Republika Hrvatska: Institut prometa i veza, v. 4, 2004.

CNT. **O Sistema Ferroviário Brasilieiro**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2013.

DINGLER, M.; LAI, Y.-C.; BARKER, C. Impact of Train Type Heterogeneity on Single-Track Railway Capacity. **Journal of the Transportation Research Board**, Washington, 2009. 9.

EPL. **Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015**. Brasília: Empresa de Planejamento e Logística, 2015.

JORNAL HOJE. g1.globo.com. **G1**, 2013. Disponivel em: <http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2013/11/trem-descarrila-e-mata-oito-pessoas-em-sao-jose-do-rio-preto-sp.html>. Acesso em: 28 ago. 2017.

KHADEM SAMENI, M.; LANDEX, A.; PRESTON, J. Developing the UIC 406 Method for Capacity Analysis. **4th International Seminar on Railway Operations Research**, Dinamarca, 2011. 20.

KRUEGER, H. **Parametric Modeling in Rail Capacity Planning**. Phoenix: IEEE, 1999.

LAI, Y.-C. **Introduction to Railroad Capacity**. Urbana-Champaign: University Of Illinois, 2008.

LAI, Y.-C.; BARKEN, C. **Enhanced Parametric Railway Capacity Evaluation Tool**. Washington: Journal of the Transportation Research Board, 2009. 8 p.

LANDEX, A. **Methods to estimate railway capacity and passenger delays**. Dinamarca: DTU Transport, 2008.

MANGIOFICO, S. **SUMMARY AND ANALYSIS OF EXTENSION EDUCATION PROGRAM EVALUATION IN R**. 1. ed. New Brunswick: Rutgers Cooperative Extension, v. 1, 2016.

MARTINS, R. S.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Desenvolvimento dos sistemas de transporte:** auge, abandono e reativação recente de ferrovias. São Paulo: Atlas, v. 1, 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIO E ABASTECIMENTO. **Projeção do Agronegócio Brasil - 2015/2016 a 2025/2026**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2016. 138 p.

MITRA, S. et al. Estimation of Railroad Capacity Using Parametric Methods. **Journal of the Transportation Research Forum**, 49, 2010. 17.

OLIVEROS RIVES, F.; MÉNDEZ, M. R.; PUENTE, M. M. **TRATADO DE EXPLOTACION DE FERROCARRILES**. Espanha: Planificacion, v. 1, 2, 1983.

PACHL, J.; WHITE, T. **ANALYTICAL CAPACITY MANAGEMENT WITH BLOCKING TIMES**. Brunsvique: Transportation Research Board, 2004.

SAFF. ANTT. **Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário**, 2017. Disponivel em: <http://intrantt/saff/Home>. Acesso em: 22 Maio 2017.

SAMPAIO, N.; LEONI, R. **UTLIZAÇÃO DOS TESTES DE HIPÓTESES PARA A MÉDIA NA TOMADA DE DECISÃO**. UNESP. São Paulo, p. 8. 2014.

SCHNEIDER, W.; NIESEN, N.; OETTING, A. **Strategic Modelling and Simulation Tool for Rail Freight Transportation**. Frankfurt: Association for European Transport, 2003.

SUFER. **Evolução do Transporte Ferroviário de Cargas**. Brasília: ANTT, 2017.

UIC. **UIC CODE - 405R Links Between Railway Infrastructure Capacity and the Quality of Operations**. 1. ed. Europe: Union Internationale des Chemins de Fer, 1996.

UIC. **UIC CODE - 406R Capacity**. Europe: Union Internationale des Chemins de Fer, 2013. 26 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Bureau of Transportation Statistics. **RITA**, 2010. Disponivel em: <https://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov.bts/files/publications/transportation_statistics_annual_report/2010/html/chapter_02/table_04_33.html>. Acesso em: 5 Novembro 2017.

VALE. **Projeto Ferro Carajás S11D**. Carajás: Vale, 2013. 25 p.

ZHAO, N. **Railway Traffic Flow Optimisation with Differing Control Systems**. Birmingham: University of Birmingham, 2013. 200 p.

ANEXO A

CRITÉRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO SCORE CORRESPONDENTE AO K2

Para cada um dos fatores, adota-se o valor 0 (ausência), 1 ou 2, de acordo com a malha ferroviária da concessionária em questão, conforma o seguinte disposto:

- Intertravamento: Pontuação de 0 a 2

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Sinalização por Circuito de Via - CDV parcial ou integral em todo trecho, porém sem conexão com outros sistemas de sinalização mais evoluídos como, por exemplo, *Cab Signal*, ATC, ATO, GPS;

  2 - Sinalização por Circuito de Via - CDV integral, integrado a outros sistemas mais evoluídos, como *Cab Signal*, ATC, ATO, GPS.

- Sistemas de Bloqueios: Pontuação de 0 a 1

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária possui algum tipo de bloqueio de trens.

  CCO: Pontuação de 0 a 2

  0 - Quesito inexistente;

  1 - CCO existente, com atuação na sinalização de campo, porém sem informações de posicionamento preciso de trens e sem informações adicionais sobre as composições (velocidades, avarias, identificações);

  2 - CCO existente, com atuação na sinalização de campo e com informações de posicionamento preciso de trens e demais informações adicionais sobre as composições (velocidades, avarias, identificações).

- GPS: Pontuação de 0 a 1

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária utiliza GPS.

- Rádio: Pontuação de 0 a 1

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária utiliza sistema de rádio, independente da cobertura.

Chaves de Mola: Pontuação de 0 a 1

0 - Quesito inexistente;

1 - Concessionária possui este tipo de chave em alguma região da ferrovia.

- Chaves Comandadas: Pontuação de 0 a 2

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária com predominância de chaves manuais nas linhas principais;

  2 - Concessionária com predominância de chaves comandadas nas linhas principais.

- Sinais Físicos: Pontuação de 0 a 2

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária com ausência de sinais luminosos fixos. Despachos ocorrem em sua maioria via rádio, utilizando como referência a sinalização ferroviária vertical (placas em linhas principais e pátios de cruzamentos);

  2 - Concessionária com predominância de sinais luminosos fixos ou *Cab Signal* (linhas principais).

- Circuitos de Via - CDV: Pontuação de 0 a 1

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária utiliza sistema de circuito de via (independente da abrangência).

- Contadores de Eixo: Pontuação de 0 a 1

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Concessionária utiliza sistema de contadores de eixo (independente da abrangência).

- Atuação no Material Rodante: Pontuação de 0 a 2

  0 - Quesito inexistente;

  1 - Atuação no material rodante primária, com aplicação de freios quando o limite da licença de circulação é descumprido;

  2 - Atuação no material rodante com aplicação de freios quando o limite da licença de circulação é descumprido ou quando a distância de frenagem para a próxima composição não é segura.

O score final será definido com a soma dos scores individuais. Assim, o sistema de sinalização será classificado a partir dos seguintes intervalos de pontuação:

- 0 a 5: Não Sinalizado;
- 6 a 9: ABS;
- 10 a 16: CTC.

ANEXO B

DETALHAMENTO E VARIÁVEIS RELEVANTES DAS CONCESSÕES FERROVIÁRIAS

Tabela 8.1: Seções Entre Pátios e Variáveis Relevantes do Corredor Rondonópolis Santos

Estação A Nome	Estação B Nome	Extensão (Km)	Tempo de Ida. (Min)	Tempo de Volta (Min)	Licenciamento (Min)	Tempo de Via Parada (Min)	Nº de Trens em 2016 (Pares Trem/Dia)	Bitola	Nº Linhas	Velocidade de Ida (km/h)	Velocidade de Volta (km/h)
Rondonópolis (TRO), km 752,240	**São Francisco (TSF), km 717,650**	40,99	37,837	40,71	10,00	126,00	8,12	Larga	Singela	65,000	60,413
São Francisco (TSF), km 717,650	**Água Limpa (TAL), km 689,710**	27,89	25,745	26,38	10,00	126,00	8,12	Larga	Singela	65,000	63,434
Água Limpa (TAL), km 689,710	**Bom Sucesso (TBS), km 660,990**	27,35	26,220	37,81	10,00	126,00	8,12	Larga	Singela	62,586	43,401
Bom Sucesso (TBS), km 660,990	**Santa Bárbara (TSB), km 631,620**	29,46	27,194	38,97	10,00	126,00	8,12	Larga	Singela	65,000	45,358
Santa Bárbara (TSB), km 631,620	**Itiquira (TIQ), km 612,300**	11,82	12,360	19,68	10,00	126,00	8,12	Larga	Singela	57,379	36,037
Itiquira (TIQ), km 612,300	**Fazenda Marajoara (TMJ), km 596,309**	14,92	23,864	16,92	10,00	126,00	8,22	Larga	Singela	37,513	52,908
Fazenda Marajoara (TMJ), km 596,309	**Fazenda Espigão (TEP), km 563,108**	32,50	30,899	38,69	10,00	126,00	8,22	Larga	Singela	63,109	50,401
Fazenda Espigão (TEP), km 563,108	**Fazenda Boa Esperança (TBE), km 529,344**	33,22	31,543	49,44	10,00	126,00	8,22	Larga	Singela	63,190	40,316
Fazenda Boa Esperança (TBE), km 529,344	**Alto Araguaia (TAG), km 497,531**	27,75	28,464	35,97	10,00	126,00	8,22	Larga	Singela	58,495	46,289
Alto Araguaia (TAG), km 497,531	**Marco Vedovelli (TVL), km 450,617**	49,50	46,914	49,50	10,00	126,00	9,32	Larga	Singela	63,307	60,000
Marco Vedovelli (TVL), km 450,617	**T. Olacyr F. Morais (TOM), km 399,874**	48,49	50,743	49,49	10,00	126,00	9,32	Larga	Singela	57,336	58,788
T. Olacyr F. Morais (TOM), km 399,874	**Baus (TBA), km 375,338**	24,83	24,536	25,75	10,00	126,00	9,77	Larga	Singela	60,719	57,856
Baus (TBA), km 375,338	**Lage (TLA), km 335,688**	38,36	39,650	41,24	10,00	126,00	9,78	Larga	Singela	58,048	55,810
Lage (TLA), km 335,688	**Humberto Eudes (THE), km 300,896**	33,08	34,792	39,95	10,00	126,00	9,78	Larga	Singela	57,048	49,682

Humberto Eudes (THE), km 300,896	**Chapadao do Sul (TCS), km 288,300**	8,49	12,596	9,67	10,00	126,00	9,78	Larga	Singela	40,441	52,678
Chapadao do Sul (TCS), km 288,300	**Agente João Amorim (TJA), km 262,656**	25,17	25,644	23,65	10,00	126,00	9,62	Larga	Singela	58,891	63,856
Agente João Amorim (TJA), km 262,656	**Viaduto (TVI), km 225,291**	39,87	37,365	39,56	10,00	126,00	9,62	Larga	Singela	64,022	60,470
Viaduto (TVI), km 225,291	**Indiaizinho (TID), km 186,942**	36,81	38,349	33,98	10,00	126,00	9,62	Larga	Singela	57,592	65,000
Indiaizinho (TID), km 186,942	**Morangas (TMO), km 143,244**	41,16	43,698	43,86	10,00	126,00	9,62	Larga	Singela	56,515	56,306
Morangas (TMO), km 143,244	**Inocencia (TIN), km 107,492**	30,85	35,752	43,56	10,00	126,00	9,62	Larga	Singela	51,773	42,493
Inocencia (TIN), km 107,492	**Quiteria (TQI), km 59,422**	43,91	48,070	41,04	10,00	126,00	9,60	Larga	Singela	54,808	64,196
Quiteria (TQI), km 59,422	**Aparecida do Taboado (TAP), km 23,312**	32,34	36,110	43,30	10,00	126,00	9,60	Larga	Singela	53,736	44,813
Aparecida do Taboado (TAP), km 23,312	**Pedreira (TPD), km 21,000**	4,71	4,71	4,71	10,00	126,00	9,60	Larga	Singela	60,000	60,000
Pedreira (TPD), km 21,000	**Marco Inicial (TMI), km 0,000**	42,82	42,82	42,82	10,00	126,00	9,60	Larga	Singela	60,000	60,000
Marco Inicial (TMI), km 436,190	**Rubineia (ZRW), km 433,190**	3,000	7,70	7,60	10,00	199,00	9,60	Larga	Singela	23,377	23,684
Rubineia (ZRW), km 433,190	**Santa Fé do Sul (ZSF), km 420,744**	12,446	21,61	21,26	10,00	199,00	9,60	Larga	Singela	34,556	35,125
Santa Fé do Sul (ZSF), km 420,744	**Tres Fronteiras (ZTF), km 413,542**	7,202	14,40	13,77	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	30,008	31,381
Tres Fronteiras (ZTF), km 413,542	**Pimenta Bueno (ZUE), km 400,680**	12,862	25,71	24,60	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	30,016	31,371
Pimenta Bueno (ZUE), km 400,680	**Santa Salete (ZHL), km 390,680**	10,000	20,91	19,22	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	28,694	31,217
Santa Salete (ZHL), km 390,680	**Urania (ZUR), km 385,680**	5,000	10,45	9,61	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	28,708	31,217
Urania (ZUR), km 385,680	**Jales (ZJA), km 373,185**	12,495	26,12	24,01	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	28,702	31,224
Jales (ZJA), km 373,185	**Estrela D`Oeste (ZED), km 357,083**	16,102	30,96	33,32	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	31,205	28,995
Estrela D`Oeste (ZED), km 357,083	**Fernandopolis (ZFN), km 339,069**	18,014	34,64	37,28	10,00	199,00	9,62	Larga	Singela	31,202	28,992

Fernandopolis (ZFN), km 339,069	**Meridiano (ZMR), km 328,590**	10,479	14,17	14,12	10,00	199,00	10,38	Larga	Singela	44,371	44,528
Meridiano (ZMR), km 328,590	**Guimarães Rosa (ZGI), km 318,700**	9,890	18,72	18,65	10,00	199,00	10,38	Larga	Singela	31,699	31,818
Guimarães Rosa (ZGI), km 318,700	**Votuporanga (ZVP), km 302,323**	16,377	16,80	16,74	10,00	199,00	10,38	Larga	Singela	58,489	58,699
Votuporanga (ZVP), km 302,323	**Simonsen (ZZM), km 291,844**	10,479	20,42	21,84	10,00	199,00	10,98	Larga	Singela	30,790	28,788
Simonsen (ZZM), km 291,844	**Cosmorama (ZKY), km 277,844**	14,000	24,36	23,70	10,00	199,00	10,98	Larga	Singela	34,483	35,443
Cosmorama (ZKY), km 277,844	**Ecatu (ZEC), km 263,320**	14,524	25,27	24,59	10,00	199,00	10,98	Larga	Singela	34,485	35,439
Ecatu (ZEC), km 263,320	**Tanabi (ZTM), km 242,950**	20,370	37,78	38,01	10,00	199,00	10,98	Larga	Singela	32,350	32,155
Tanabi (ZTM), km 242,950	**Eng. Balduíno (ZEB), km 238,500**	4,449	8,25	8,30	10,00	199,00	10,98	Larga	Singela	32,356	32,161
Eng. Balduíno (ZEB), km 238,500	**Balsamo (ZVU), km 232,800**	5,699	20,27	19,69	10,00	199,00	11,00	Larga	Singela	16,869	17,366
Balsamo (ZVU), km 232,800	**Mirassol (ZMO), km 208,500**	24,300	24,30	24,30	10,00	199,00	11,00	Larga	Singela	60,000	60,000
Mirassol (ZMO), km 208,500	**Rio Preto Paulista (ZRU), km 203,493**	5,007	47,49	46,09	10,00	199,00	11,38	Larga	Singela	6,326	6,518
Rio Preto Paulista (ZRU), km 203,493	**São José Rio Preto (ZSP), km 199,036**	4,456	26,40	25,00	10,00	199,00	11,73	Larga	Singela	10,127	10,694
São José Rio Preto (ZSP), km 199,036	**Eng. Schmit (ZEH), km 188,503**	10,533	20,40	20,10	10,00	199,00	11,73	Larga	Singela	30,979	31,442
Eng. Schmit (ZEH), km 188,503	**Cedral (ZCG), km 180,517**	7,985	18,14	17,80	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	26,411	26,916
Cedral (ZCG), km 180,517	**Uchoa (ZUC), km 169,171**	11,346	25,77	25,29	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	26,417	26,918
Uchoa (ZUC), km 169,171	**Catiguá (ZCT), km 151,905**	17,266	26,07	21,66	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	39,738	47,828
Catiguá (ZCT), km 151,905	**Catanduva (ZCV), km 138,421**	13,484	33,86	34,37	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	23,894	23,539
Catanduva (ZCV), km 138,421	**Pindorama (ZPN), km 127,890**	10,531	24,15	31,53	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	26,164	20,040
Pindorama (ZPN), km 127,890	**Santa Adélia (ZSD), km 114,964**	12,926	29,64	29,45	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	26,166	26,335

Santa Adélia (ZSD), km 114,964	**Fernando Prestes (ZFU), km 98,775**	16,189	27,66	27,59	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	35,117	35,206
Fernando Prestes (ZFU), km 98,775	**Cândido Rodrigues (ZCZ), km 90,775**	8,000	13,67	13,64	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	35,113	35,191
Cândido Rodrigues (ZCZ), km 90,775	**Taquaritinga (ZTQ), km 74,911**	15,864	36,61	36,29	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	25,999	26,229
Taquaritinga (ZTQ), km 74,911	**Santa Ernestina (ZSH), km 59,100**	15,811	20,32	20,37	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	46,686	46,571
Santa Ernestina (ZSH), km 59,100	**Dobrada (ZDG), km 53,831**	5,269	6,77	6,79	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	46,697	46,560
Dobrada (ZDG), km 53,831	**Matão (ZMA), km 42,831**	11,000	16,51	14,47	10,00	199,00	11,60	Larga	Singela	39,976	45,612
Matão (ZMA), km 42,831	**Silvânia (ZZL), km 31,105**	11,726	25,20	22,71	10,00	199,00	11,58	Larga	Singela	27,919	30,980
Silvânia (ZZL), km 31,105	**Bueno de Andrade (ZDZ), km 24,736**	6,369	13,69	12,34	10,00	199,00	11,58	Larga	Singela	27,914	30,968
Bueno de Andrade (ZDZ), km 24,736	**Tutóia (ZTO), km 7,026**	17,710	31,06	31,77	10,00	199,00	11,58	Larga	Singela	34,211	33,447
Tutóia (ZTO), km 7,026	**Araraquara (ZAR), km 0,000**	7,026	20,00	20,00	10,00	199,00	12,17	Larga	Singela	21,078	21,078
Araraquara (ZAR), km 253,764	**Ouro (ZOI), km 244,297**	9,467	20,00	20,00	10,00	199,00	12,15	Larga	Singela	28,401	28,401
Ouro (ZOI), km 244,297	**Chibarro (ZFQ), km 235,457**	8,840	17,63	17,75	10,00	199,00	12,15	Larga	Singela	30,085	29,882
Chibarro (ZFQ), km 235,457	**Tamoio (ZTI), km 227,801**	7,656	15,26	15,38	10,00	199,00	12,03	Larga	Singela	30,102	29,867
Tamoio (ZTI), km 227,801	**Washington Luís (ZXH), km 217,600**	10,201	13,33	12,99	10,00	199,00	12,03	Larga	Singela	45,916	47,118
Washington Luís (ZXH), km 217,600	**São Carlos (ZSK), km 206,308**	11,292	28,15	28,36	10,00	199,00	12,03	Larga	Singela	24,068	23,890
São Carlos (ZSK), km 206,308	**Conde do Pinhal (ZFR), km 195,325**	10,983	18,19	14,68	10,00	199,00	12,03	Larga	Singela	36,228	44,890
Conde do Pinhal (ZFR), km 195,325	**Visconde do Rio Claro (ZVI), km 183,500**	11,825	15,03	17,78	10,00	199,00	12,03	Larga	Singela	47,206	39,904
Visconde do Rio Claro (ZVI), km 183,500	**Itirapina (ZIQ), km 174,370**	9,130	14,56	16,12	10,00	199,00	12,03	Larga	Singela	37,624	33,983
Itirapina (ZIQ), km 174,370	**Grauna (ZOX), km 157,428**	16,942	15,64	15,64	10,00	199,00	12,02	Larga	Singela	65,000	65,000

Grauna (ZOX), km 157,428	**Camaqua (ZQX), km 144,528**	12,900	16,63	15,09	10,00	199,00	12,02	Larga	Singela	46,542	51,292
Camaqua (ZQX), km 144,528	**Batovi (ZRQ), km 138,945**	5,583	13,66	12,86	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	24,523	26,048
Batovi (ZRQ), km 138,945	**Rio Claro Novo (ZRX), km 131,888**	7,056	17,26	16,25	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	24,528	26,053
Rio Claro Novo (ZRX), km 131,888	**Santana (ZWX), km 128,129**	3,759	9,54	8,36	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	23,642	26,978
Santana (ZWX), km 128,129	**Santa Gertrudes (ZSQ), km 125,992**	2,137	5,28	4,43	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	24,284	28,944
Santa Gertrudes (ZSQ), km 125,992	**Cordeiropolis (ZCD), km 116,965**	9,027	22,29	18,73	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	24,299	28,917
Cordeiropolis (ZCD), km 116,965	**Limeira (ZLI), km 105,459**	11,506	23,99	23,25	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	28,777	29,693
Limeira (ZLI), km 105,459	**Tatu (ZTT), km 93,794**	11,665	18,86	16,57	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	37,110	42,239
Tatu (ZTT), km 93,794	**Americana (ZAC), km 81,959**	11,835	22,04	23,24	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	32,219	30,555
Americana (ZAC), km 81,959	**Recanto (ZRC), km 78,387**	3,572	7,55	7,58	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	28,387	28,274
Recanto (ZRC), km 78,387	**Nova Odessa (ZNO), km 75,623**	2,764	5,84	5,87	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	28,397	28,252
Nova Odessa (ZNO), km 75,623	**Sumaré (ZSU), km 69,615**	6,008	12,70	12,75	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	28,384	28,273
Sumaré (ZSU), km 69,615	**Hortolândia (ZHO), km 62,605**	7,010	11,88	10,89	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	35,404	38,623
Hortolândia (ZHO), km 62,605	**Boa Vista Velha (ZBV), km 53,009**	9,596	8,86	8,86	10,00	199,00	12,77	Larga	Singela	65,000	65,000
Boa Vista Velha (ZBV), km 52,670	**Km 254 (ZQB), km 49,728**	2,942	10,00	10,10	10,00	199,00	12,77	Larga	Dupla	17,652	17,477
Km 254 (ZQB), km 254,200	**Descampado (ZDS), km 242,270**	11,200	17,36	18,00	10,00	199,00	12,77	Mista	Dupla	38,710	37,333
Descampado (ZDS), km 242,270	**Viracopos (ZVK), km 235,331**	7,669	17,50	18,11	10,00	199,00	12,78	Mista	Dupla	26,294	25,408
Viracopos (ZVK), km 235,331	**Itaici (ZIC), km 224,000**	11,331	17,94	18,80	10,00	199,00	19,53	Mista	Dupla	37,896	36,163
Itaici (ZIC), km 224,000	**Pimenta (ZXI), km 217,000**	7,000	18,35	18,50	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	22,888	22,703

Pimenta (ZXI), km 217,000	**Salto (ZST), km 211,168**	5,831	17,44	18,34	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	20,061	19,076
Salto (ZST), km 211,168	**Itu (ZYU), km 202,484**	8,684	15,40	15,78	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	33,834	33,019
Itu (ZYU), km 202,484	**Convenção (ZFY), km 194,386**	8,098	13,63	21,18	10,00	199,00	15,10	Mista	Singela	35,648	22,941
Convenção (ZFY), km 194,386	**Pirapitingui (ZXP), km 186,143**	8,243	14,02	14,60	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	35,277	33,875
Pirapitingui (ZXP), km 186,143	**Botuxim (ZDY), km 180,738**	5,405	19,32	19,32	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	16,786	16,786
Botuxim (ZDY), km 180,738	**Dona Catarina (ZDI), km 174,062**	6,676	8,53	15,68	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	46,959	25,546
Dona Catarina (ZDI), km 174,062	**Eng. Acrisio (ZER), km 166,755**	7,307	8,03	6,74	10,00	199,00	15,10	Mista	Dupla	54,598	65,002
Eng. Acrisio (ZER), km 166,755	**Capricórnio (ZCX), km 161,233**	5,522	10,68	10,78	10,00	199,00	15,15	Mista	Dupla	31,022	30,735
Capricórnio (ZCX), km 161,233	**Pantojo Santista (ZPS), km 157,790**	3,443	21,37	19,30	10,00	199,00	15,15	Mista	Dupla	9,667	10,704
Pantojo Santista (ZPS), km 157,790	**Guaianã (ZGA), km 148,434**	9,356	10,98	13,92	10,00	199,00	15,15	Mista	Dupla	51,126	40,328
Guaianã (ZGA), km 148,434	**Canguera (ZKE), km 146,833**	1,601	10,88	12,85	10,00	199,00	15,15	Mista	Dupla	8,829	7,475
Canguera (ZKE), km 76,200	**Parada do Carmo (ZWW), km 87,951**	15,409	20,00	19,97	10,00	199,00	15,17	Mista	Singela	46,227	46,296
Parada do Carmo (ZWW), km 87,951	**Caucaia do Alto (ZKW), km 100,369**	12,418	20,32	19,69	10,00	199,00	15,17	Mista	Dupla	36,667	37,841
Caucaia do Alto (ZKW), km 100,369	**Parada de Linfa (ZLU), km 108,764**	8,395	20,23	20,12	10,00	199,00	15,17	Mista	Dupla	24,899	25,035
Parada de Linfa (ZLU), km 108,764	**Aldeinha (ZWI), km 119,521**	10,757	20,36	19,62	10,00	199,00	15,17	Mista	Dupla	31,700	32,896
Aldeinha (ZWI), km 119,521	**Itaquaciara (ZYQ), km 123,910**	4,389	20,14	19,70	10,00	199,00	15,17	Mista	Dupla	13,075	13,368
Itaquaciara (ZYQ), km 123,910	**Embu-Guacu (ZEM), km 133,571**	9,661	20,05	19,15	10,00	199,00	16,37	Mista	Dupla	28,911	30,269
Embu-Guacu (ZEM), km 133,571	**Eng. Marsilac (ZEJ), km 146,779**	13,208	12,19	18,23	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	65,000	43,471
Eng. Marsilac (ZEJ), km 146,779	**Represa Billings (ZRB), km 149,600**	2,821	15,88	11,87	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	10,659	14,259

Represa Billings (ZRB), km 149,600	**Evangelista de Souza (ZEV), km 158,997**	9,397	13,33	17,07	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	42,297	33,030
Evangelista de Souza (ZEV), km 65,860	**Eng. Ferraz (ZEZ), km 75,220**	9,360	19,88	20,30	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	28,249	27,665
Eng. Ferraz (ZEZ), km 75,220	**Pai Matias (ZXW), km 83,657**	8,437	20,33	17,54	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	24,900	28,861
Pai Matias (ZXW), km 83,657	**Acaraú (ZWU), km 102,100**	18,443	19,06	20,06	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	58,058	55,164
Acaraú (ZWU), km 102,100	**Paratinga (ZPT), km 106,504**	4,404	16,24	10,21	10,00	199,00	15,93	Mista	Dupla	16,271	25,881
Paratinga (ZPT), km 106,504	**Gladson Moraes (ZGM), km 115,000**	8,496	18,36	19,20	10,00	199,00	15,97	Mista	Dupla	27,765	26,550
Gladson Moraes (ZGM), km 115,000	**Vila Natal (ZZV), km 122,000**	7,000	20,09	20,29	10,00	199,00	15,97	Mista	Dupla	20,906	20,700
Vila Natal (ZZV), km 122,000	**Pereque (ZPG), km 125,025**	3,025	12,65	11,08	10,00	199,00	15,97	Mista	Dupla	14,348	16,381

Fonte: SAFF

Tabela 8.2: Seções Entre Pátios e Variáveis Relevantes do Corredor Uberaba - Ribeirão Preto da FCA

Estação A Nome	Estação B Nome	Dist. (Km)	Tempo de Ida. (Min)	Tempo de Volta (Min)	Licenciamento (Min)	Tempo de Via Parada (Min)	Nº de Trens em 2016 (Pares Trem/Dia)	Bitola	Nº Linhas	Velocidade de Ida (km/h)	Velocidade de Volta (km/h)
Ribeirão Preto (ZRP), km 296,898	**Jardinópolis (ZJN), km 316,741**	19,843	39,82	41,79	6	114	7,94	Métrica	Singela	29,9	28,5
Jardinópolis (ZJN), km 316,741	**Coronel Pereira Lima (ZKR), km 331,951**	15,210	25,23	24,30	6	114	7,94	Métrica	Singela	36,2	37,6
Coronel Pereira Lima (ZKR), km 331,951	**Orlândia (ZOL), km 353,454**	21,503	46,22	44,66	6	114	7,94	Métrica	Singela	27,9	28,9
Orlândia (ZOL), km 353,454	**São Joaquim da Barra (ZHB), km 375,647**	22,193	37,62	45,20	6	114	7,94	Métrica	Singela	35,4	29,5
São Joaquim da Barra (ZHB), km 375,647	**Guará (ZGU), km 389,850**	14,203	15,13	26,96	6	114	7,94	Métrica	Singela	56,3	31,6
Guará (ZGU), km 389,850	**Ituverava (ZYW), km 401,450**	11,600	30,48	22,63	6	114	6,74	Métrica	Singela	22,8	30,8
Ituverava (ZYW), km 401,450	**Aramina (ZWA), km 435,999**	34,549	58,09	58,09	6	114	6,74	Métrica	Singela	35,7	35,7
Aramina (ZWA), km 435,999	**Valefertil (ZVF), km 444,890**	8,890	22,13	13,65	6	114	6,74	Métrica	Singela	24,1	39,1
Valefertil (ZVF), km 444,890	**Babaçu (ZQQ), km 460,660**	15,770	29,37	29,91	6	114	6,72	Métrica	Singela	32,2	31,6
Babaçu (ZQQ), km 460,660	**Uberaba (ZUB), km 477,448**	16,788	43,24	50,40	6	114	6,72	Métrica	Singela	23,3	20,0

Fonte: SAFF

Tabela 8.3: Seções Entre Pátios e Variáveis Relevantes da Estrada de Ferro Carajás

Estação A	Estação B	Dist. Km	Tempo. I (min)	Tempo. V (min)	Licenciamento (min)	Tempo de Via Parada (min)	Nº de Trens em 2016 (pares de trem/dia)	Bitola	Nº Linhas	Velocidade i (km/h)	Velocidade v (km/h)
Ponta da Madeira (QPM), km 0,000	**Rosário (QRO), km 39,000**	39,000	38,88	35,25	5	180	10,73	Larga	Singela	60,2	66,4
Rosário (QRO), km 39,000	**Santa Inês (QSI), km 213,000**	174,000	200,53	204,50	5	180	17,53	Larga	Singela	52,1	51,1
Santa Inês (QSI), km 213,000	**Nova Vida (QNV), km 384,000**	171,000	189,77	186,45	5	180	17,52	Larga	Singela	54,1	55,0
Nova Vida (QNV), km 384,000	**Açailândia (QAL), km 513,000**	129,000	168,96	153,92	5	180	17,52	Larga	Dupla	45,8	50,3
Açailândia (QAL), km 513,000	**Marabá (QMA), km 738,000**	225,000	330,99	288,40	5	180	15,37	Larga	Singela	40,8	46,8
Marabá (QMA), km 738,000	**Serra Leste (QSL), km 831,342**	93,342	123,68	97,45	5	180	15,27	Larga	Singela	45,3	57,5
Serra Leste (QSL), km 831,342	**Entrocamento Serra Sul (QRS), km 859,417**	28,075	24,17	21,71	5	180	15,12	Larga	Singela	69,7	77,6
Entrocamento Serra Sul (QRS), km 859,417	**Paraupebas (QPA), km 861,000**	1,583	24,17	21,71	5	180	15,15	Larga	Singela	3,9	4,4
Paraupebas (QPA), km 861,000	**Carajás (QCA), km 891,000**	30,000	36,61	42,14	5	180	14,77	Larga	Singela	49,2	42,7
Entrocamento Serra Sul (QRS), km 0,000	**Serra Sul (QSS), km 86,969**	86,969	46,42	35,71	5	180	9,02	Larga	Singela	112,4	146,1

Fonte: SAFF

ANEXO C

RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS

Tabela 8.4: Resultados da Aplicação de Metodologias ao Corredor Rondonópolis - Santos

Estação A	Estação B	406R		COLSON		405R		RENFE		TRF		Gráfica	
Nome	Nome	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação
Rondonópolis (TRO), km 752,240	São Francisco (TSF), km 717,650		76,9%	10,61	76,5%	9,85	82,4%	16,82	48,3%	11,80	68,8%	11,87	68,4%
São Francisco (TSF), km 717,650	Água Limpa (TAL), km 689,710		51,6%	15,22	53,3%	13,83	58,7%	21,17	38,3%	17,76	45,7%	18,01	45,1%
Água Limpa (TAL), km 689,710	Bom Sucesso (TBS), km 660,990		64,3%	12,78	63,5%	12,01	67,6%	19,11	42,5%	14,94	54,3%	14,66	55,4%
Bom Sucesso (TBS), km 660,990	Santa Bárbara (TSB), km 631,620		66,3%	12,42	65,4%	11,68	69,5%	18,75	43,3%	14,46	56,1%	14,19	57,2%
Santa Bárbara (TSB), km 631,620	Itiquira (TIQ), km 612,300		33,4%	22,50	36,1%	20,73	39,2%	30,31	26,8%	29,61	27,4%	29,30	27,7%
Itiquira (TIQ), km 612,300	Fazenda Marajoara (TMJ), km 596,309		42,0%	18,62	44,1%	16,32	50,4%	24,11	34,1%	22,94	35,8%	23,02	35,7%
Fazenda Marajoara (TMJ), km 596,309	Fazenda Espigão (TEP), km 563,108		69,8%	11,88	69,1%	11,07	74,2%	18,07	45,5%	13,51	60,8%	13,49	60,9%
Fazenda Espigão (TEP), km 563,108	Fazenda Boa Esperança (TBE), km 529,344		82,0%	10,40	79,0%	9,91	82,9%	16,88	48,7%	12,06	68,2%	11,59	70,9%
Fazenda Boa Esperança (TBE), km 529,344	Alto Araguaia (TAG), km 497,531		64,8%	12,71	64,7%	11,82	69,5%	18,87	43,5%	14,56	56,4%	14,57	56,4%
Alto Araguaia (TAG), km 497,531	Marco Vedovelli (TVL), km 450,617		105,6%	8,89	104,8%	8,22	113,3%	15,48	60,2%	9,70	96,1%	9,74	95,7%
Marco Vedovelli (TVL), km 450,617	T. Olacyr F. Morais (TOM), km 399,874		109,5%	8,58	108,6%	7,89	118,1%	15,20	61,3%	9,32	100,0%	9,37	99,5%
T. Olacyr F. Morais (TOM), km 399,874	Baus (TBA), km 375,338		58,3%	15,69	62,3%	14,26	68,5%	21,04	46,4%	18,37	53,2%	18,67	52,3%
Baus (TBA), km 375,338	Lage (TLA), km 335,688		92,7%	10,41	94,0%	9,58	102,2%	16,77	58,3%	11,51	85,0%	11,61	84,3%
Lage (TLA), km 335,688	Humberto Eudes (THE), km 300,896		86,3%	11,16	87,7%	10,34	94,6%	17,42	56,2%	12,48	78,4%	12,56	77,9%
Humberto Eudes (THE), km 300,896	Chapadao do Sul (TCS), km 288,300		27,3%	29,31	33,4%	25,27	38,7%	34,42	28,4%	40,31	24,3%	42,17	23,2%

Chapadao do Sul (TCS), km 288,300	**Agente João Amorim (TJA), km 262,656**	56,6%	15,95	60,3%	14,34	67,1%	21,14	45,5%	18,76	51,3%	19,05	50,5%
Agente João Amorim (TJA), km 262,656	**Viaduto (TVI), km 225,291**	87,0%	10,88	88,4%	10,02	96,0%	17,11	56,2%	12,12	79,4%	12,21	78,8%
Viaduto (TVI), km 225,291	**Indiaizinho (TID), km 186,942**	82,2%	11,49	83,7%	10,40	92,5%	17,44	55,1%	12,91	74,5%	12,98	74,1%
Indiaizinho (TID), km 186,942	**Morangas (TMO), km 143,244**	98,5%	9,69	99,2%	8,91	107,9%	16,16	59,5%	10,64	90,4%	10,72	89,7%
Morangas (TMO), km 143,244	**Inocencia (TIN), km 107,492**	90,4%	10,59	90,8%	9,88	97,4%	16,98	56,6%	11,81	81,4%	11,84	81,2%
Inocencia (TIN), km 107,492	**Quiteria (TQI), km 59,422**	100,9%	9,54	100,6%	8,65	111,0%	15,94	60,2%	10,53	91,1%	10,54	91,1%
Quiteria (TQI), km 59,422	**Aparecida do Taboado (TAP), km 23,312**	90,2%	10,58	90,8%	9,85	97,4%	16,96	56,6%	11,79	81,5%	11,82	81,2%
Aparecida do Taboado (TAP), km 23,312	**Pedreira (TPD), km 21,000**	12,4%	48,70	19,7%	40,86	23,5%	70,51	13,6%	88,85	10,8%	99,67	9,6%
Pedreira (TPD), km 21,000	**Marco Inicial (TMI), km 0,000**	96,2%	9,89	97,1%	9,08	105,7%	16,30	58,9%	10,89	88,2%	10,96	87,6%
Marco Inicial (TMI), km 436,190	**Rubineia (ZRW), km 433,190**	20,0%	36,79	26,1%	32,15	29,9%	46,06	20,8%	50,53	19,0%	60,34	15,9%
Rubineia (ZRW), km 433,190	**Santa Fé do Sul (ZSF), km 420,744**	52,1%	17,61	54,5%	16,09	59,7%	22,61	42,5%	20,70	46,4%	21,54	44,6%
Santa Fé do Sul (ZSF), km 420,744	**Tres Fronteiras (ZTF), km 413,542**	35,1%	24,39	39,4%	21,89	43,9%	29,32	32,8%	30,47	31,6%	32,77	29,3%
Tres Fronteiras (ZTF), km 413,542	**Pimenta Bueno (ZUE), km 400,680**	61,0%	15,43	62,3%	14,15	68,0%	20,65	46,6%	17,67	54,4%	18,35	52,4%
Pimenta Bueno (ZUE), km 400,680	**Santa Salete (ZHL), km 390,680**	49,2%	18,57	51,8%	16,85	57,1%	23,39	41,1%	21,90	43,9%	23,01	41,8%
Santa Salete (ZHL), km 390,680	**Urania (ZUR), km 385,680**	25,7%	30,97	31,1%	27,31	35,2%	37,18	25,9%	41,41	23,2%	46,02	20,9%
Urania (ZUR), km 385,680	**Jales (ZJA), km 373,185**	60,9%	15,48	62,1%	14,15	68,0%	20,65	46,6%	17,73	54,2%	18,42	52,2%
Jales (ZJA), km 373,185	**Estrela D`Oeste (ZED), km 357,083**	77,4%	12,53	76,7%	11,68	82,3%	18,35	52,4%	13,97	68,8%	14,36	67,0%
Estrela D`Oeste (ZED), km 357,083	**Fernandopolis (ZFN), km 339,069**	86,4%	11,36	84,6%	10,63	90,5%	17,43	55,2%	12,53	76,7%	12,84	74,9%
Fernandopolis (ZFN), km 339,069	**Meridiano (ZMR), km 328,590**	37,5%	24,31	42,7%	21,89	47,4%	28,63	36,3%	31,09	33,4%	32,64	31,8%

Meridiano (ZMR), km 328,590	**Guimarães Rosa (ZGI), km 318,700**	48,8%	19,65	52,8%	17,89	58,0%	24,20	42,9%	23,46	44,3%	24,71	42,0%
Guimarães Rosa (ZGI), km 318,700	**Votuporanga (ZVP), km 302,323**	44,0%	21,38	48,6%	19,38	53,6%	25,77	40,3%	26,75	38,8%	27,53	37,7%
Votuporanga (ZVP), km 302,323	**Simonsen (ZZM), km 291,844**	57,8%	17,81	61,7%	16,38	67,1%	22,61	48,6%	20,83	52,7%	21,85	50,3%
Simonsen (ZZM), km 291,844	**Cosmorama (ZKY), km 277,844**	65,3%	16,03	68,5%	14,70	74,7%	21,11	52,0%	18,56	59,2%	19,21	57,2%
Cosmorama (ZKY), km 277,844	**Ecatu (ZEC), km 263,320**	67,7%	15,55	70,6%	14,27	77,0%	20,75	52,9%	17,92	61,3%	18,52	59,3%
Ecatu (ZEC), km 263,320	**Tanabi (ZTM), km 242,950**	101,7%	10,85	101,2%	10,10	108,7%	17,43	63,0%	11,92	92,1%	12,18	90,2%
Tanabi (ZTM), km 242,950	**Eng. Balduíno (ZEB), km 238,500**	23,9%	35,06	31,3%	30,79	35,7%	40,50	27,1%	49,44	22,2%	55,79	19,7%
Eng. Balduíno (ZEB), km 238,500	**Balsamo (ZVU), km 232,800**	54,8%	18,63	59,0%	16,97	64,8%	23,16	47,5%	21,04	52,3%	23,10	47,6%
Balsamo (ZVU), km 232,800	**Mirassol (ZMO), km 208,500**	66,0%	15,88	69,2%	14,60	75,4%	21,03	52,3%	18,68	58,9%	19,00	57,9%
Mirassol (ZMO), km 208,500	**Rio Preto Paulista (ZRU), km 203,493**	129,2%	8,99	126,7%	8,38	135,9%	16,40	69,4%	8,86	128,4%	9,87	115,4%
Rio Preto Paulista (ZRU), km 203,493	**São José Rio Preto (ZSP), km 199,036**	74,0%	15,16	77,4%	13,90	84,4%	20,58	57,0%	15,93	73,6%	17,96	65,3%
São José Rio Preto (ZSP), km 199,036	**Eng. Schmit (ZEH), km 188,503**	58,6%	18,43	63,7%	16,82	69,8%	23,00	51,0%	21,72	54,0%	22,80	51,5%
Eng. Schmit (ZEH), km 188,503	**Cedral (ZCG), km 180,517**	51,8%	20,26	57,2%	18,40	63,0%	24,44	47,5%	24,06	48,2%	25,69	45,2%
Cedral (ZCG), km 180,517	**Uchoa (ZUC), km 169,171**	72,6%	15,24	76,1%	14,01	82,8%	20,64	56,2%	17,30	67,1%	18,08	64,2%
Uchoa (ZUC), km 169,171	**Catiguá (ZCT), km 151,905**	68,6%	16,12	71,9%	14,60	79,5%	21,11	55,0%	19,00	61,1%	19,34	60,0%
Catiguá (ZCT), km 151,905	**Catanduva (ZCV), km 138,421**	96,3%	11,90	97,5%	11,06	104,9%	18,38	63,1%	13,05	88,9%	13,53	85,7%
Catanduva (ZCV), km 138,421	**Pindorama (ZPN), km 127,890**	79,9%	14,17	81,8%	13,37	86,8%	20,13	57,6%	16,08	72,1%	16,58	70,0%
Pindorama (ZPN), km 127,890	**Santa Adélia (ZSD), km 114,964**	83,7%	13,47	86,1%	12,45	93,2%	19,42	59,7%	15,04	77,1%	15,62	74,2%
Santa Adélia (ZSD), km 114,964	**Fernando Prestes (ZFU), km 98,775**	78,4%	14,27	81,3%	13,16	88,1%	19,96	58,1%	16,23	71,5%	16,71	69,4%

Fernando Prestes (ZFU), km 98,775	**Cândido Rodrigues (ZCZ), km 90,775**	39,8%	24,95	46,5%	22,43	51,7%	28,52	40,7%	31,66	36,6%	33,81	34,3%
Cândido Rodrigues (ZCZ), km 90,775	**Taquaritinga (ZTQ), km 74,911**	102,7%	11,23	103,3%	10,43	111,2%	17,94	64,7%	12,29	94,4%	12,66	91,6%
Taquaritinga (ZTQ), km 74,911	**Santa Ernestina (ZSH), km 59,100**	58,3%	18,36	63,2%	16,78	69,1%	22,96	50,5%	22,02	52,7%	22,69	51,1%
Santa Ernestina (ZSH), km 59,100	**Dobrada (ZDG), km 53,831**	20,9%	39,51	29,4%	34,34	33,8%	45,70	25,4%	61,50	18,9%	68,09	17,0%
Dobrada (ZDG), km 53,831	**Matão (ZMA), km 42,831**	45,1%	22,71	51,1%	20,34	57,0%	26,33	44,1%	28,59	40,6%	29,80	38,9%
Matão (ZMA), km 42,831	**Silvânia (ZZL), km 31,105**	68,5%	16,07	72,1%	14,64	79,1%	21,15	54,8%	18,51	62,6%	19,27	60,1%
Silvânia (ZZL), km 31,105	**Bueno de Andrade (ZDZ), km 24,736**	38,2%	25,84	44,8%	23,02	50,3%	29,18	39,7%	32,71	35,4%	35,47	32,7%
Bueno de Andrade (ZDZ), km 24,736	**Tutóia (ZTO), km 7,026**	88,8%	12,78	90,6%	11,86	97,7%	18,97	61,1%	14,32	80,9%	14,69	78,8%
Tutóia (ZTO), km 7,026	**Araraquara (ZAR), km 0,000**	59,7%	18,62	65,4%	17,00	71,6%	23,18	52,5%	21,41	56,8%	23,08	52,7%
Araraquara (ZAR), km 253,764	**Ouro (ZOI), km 244,297**	59,7%	18,62	65,3%	17,00	71,5%	23,18	52,4%	21,86	55,6%	23,08	52,6%
Ouro (ZOI), km 244,297	**Chibarro (ZFQ), km 235,457**	53,0%	20,51	59,2%	18,65	65,1%	24,63	49,3%	24,61	49,4%	26,10	46,6%
Chibarro (ZFQ), km 235,457	**Tamoio (ZTI), km 227,801**	45,8%	22,90	52,5%	20,71	58,1%	26,59	45,3%	28,13	42,8%	30,13	39,9%
Tamoio (ZTI), km 227,801	**Washington Luís (ZXH), km 217,600**	39,7%	25,63	47,0%	22,97	52,4%	28,92	41,6%	33,37	36,1%	35,08	34,3%
Washington Luís (ZXH), km 217,600	**São Carlos (ZSK), km 206,308**	82,7%	14,00	86,0%	12,93	93,1%	19,92	60,4%	15,63	77,0%	16,34	73,7%
São Carlos (ZSK), km 206,308	**Conde do Pinhal (ZFR), km 195,325**	49,5%	21,71	55,4%	19,37	62,1%	25,31	47,6%	27,13	44,3%	28,09	42,8%
Conde do Pinhal (ZFR), km 195,325	**Visconde do Rio Claro (ZVI), km 183,500**	49,3%	21,74	55,3%	19,94	60,3%	25,85	46,6%	27,16	44,3%	28,14	42,8%
Visconde do Rio Claro (ZVI), km 183,500	**Itirapina (ZIQ), km 174,370**	46,1%	22,88	52,6%	20,83	57,8%	26,71	45,1%	28,51	42,2%	30,09	40,0%
Itirapina (ZIQ), km 174,370	**Grauna (ZOX), km 157,428**	46,7%	22,55	53,3%	20,39	58,9%	26,28	45,7%	28,72	41,8%	29,52	40,7%
Grauna (ZOX), km 157,428	**Camaqua (ZQX), km 144,528**	47,5%	22,31	53,9%	20,05	59,9%	25,95	46,3%	28,08	42,8%	29,11	41,3%

Camaqua (ZQX), km 144,528	**Batovi (ZRQ), km 138,945**	42,2%	25,49	50,1%	22,80	56,0%	28,51	44,8%	31,66	40,3%	34,81	36,7%
Batovi (ZRQ), km 138,945	**Rio Claro Novo (ZRX), km 131,888**	52,7%	21,39	59,7%	19,32	66,1%	25,23	50,6%	25,58	49,9%	27,55	46,3%
Rio Claro Novo (ZRX), km 131,888	**Santana (ZWX), km 128,129**	29,2%	33,36	38,3%	29,18	43,7%	35,93	35,5%	44,91	28,4%	51,58	24,8%
Santana (ZWX), km 128,129	**Santa Gertrudes (ZSQ), km 125,992**	16,9%	47,23	27,0%	40,01	31,9%	55,28	23,1%	75,08	17,0%	95,08	13,4%
Santa Gertrudes (ZSQ), km 125,992	**Cordeiropolis (ZCD), km 116,965**	64,3%	18,24	70,0%	16,45	77,6%	22,83	55,9%	21,41	59,6%	22,51	56,7%
Cordeiropolis (ZCD), km 116,965	**Limeira (ZLI), km 105,459**	73,3%	16,26	78,5%	14,89	85,7%	21,63	59,0%	18,71	68,2%	19,54	65,3%
Limeira (ZLI), km 105,459	**Tatu (ZTT), km 93,794**	55,8%	20,49	62,3%	18,44	69,2%	24,47	52,2%	25,07	50,9%	26,06	49,0%
Tatu (ZTT), km 93,794	**Americana (ZAC), km 81,959**	70,4%	16,84	75,8%	15,50	82,3%	22,09	57,8%	19,56	65,3%	20,39	62,6%
Americana (ZAC), km 81,959	**Recanto (ZRC), km 78,387**	24,9%	37,04	34,5%	32,38	39,4%	40,54	31,5%	52,52	24,3%	61,02	20,9%
Recanto (ZRC), km 78,387	**Nova Odessa (ZNO), km 75,623**	19,8%	42,88	29,8%	36,98	34,5%	48,65	26,2%	65,07	19,6%	78,84	16,2%
Nova Odessa (ZNO), km 75,623	**Sumaré (ZSU), km 69,615**	40,4%	26,26	48,6%	23,54	54,2%	29,28	43,6%	33,19	38,5%	36,28	35,2%
Sumaré (ZSU), km 69,615	**Hortolândia (ZHO), km 62,605**	36,5%	28,41	44,9%	25,19	50,7%	31,05	41,1%	37,67	33,9%	40,55	31,5%
Hortolândia (ZHO), km 62,605	**Boa Vista Velha (ZBV), km 53,009**	28,8%	33,59	38,0%	29,59	43,1%	36,47	35,0%	49,39	25,8%	52,11	24,5%
Boa Vista Velha (ZBV), km 52,670	**Km 254 (ZQB), km 49,728**	18,6%	46,43	27,5%	54,87	23,3%	56,26	22,7%	76,66	16,7%	69,13	18,5%
Km 254 (ZQB), km 254,200	**Descampado (ZDS), km 242,270**	31,1%	33,63	38,0%	37,40	34,1%	37,43	34,1%	49,94	25,6%	39,65	32,2%
Descampado (ZDS), km 242,270	**Viracopos (ZVK), km 235,331**	31,3%	33,48	38,2%	37,20	34,4%	37,25	34,3%	48,43	26,4%	39,34	32,5%
Viracopos (ZVK), km 235,331	**Itaici (ZIC), km 224,000**	45,5%	32,82	59,5%	36,38	53,7%	35,03	55,8%	48,10	40,6%	38,30	51,0%
Itaici (ZIC), km 224,000	**Pimenta (ZXI), km 217,000**	36,9%	32,75	46,1%	36,19	41,7%	35,16	42,9%	46,46	32,5%	37,68	40,1%
Pimenta (ZXI), km 217,000	**Salto (ZST), km 211,168**	35,9%	33,38	45,2%	37,11	40,7%	35,69	42,3%	47,12	32,0%	39,37	38,4%

Salto (ZST), km 211,168	**Itu (ZYU), km 202,484**	31,6%	36,38	41,5%	40,95	36,9%	38,77	38,9%	55,78	27,1%	44,78	33,7%
Itu (ZYU), km 202,484	**Convenção (ZFY), km 194,386**	64,2%	20,77	72,7%	19,49	77,5%	25,76	58,6%	26,09	57,9%	26,52	56,9%
Convenção (ZFY), km 194,386	**Pirapitingui (ZXP), km 186,143**	29,1%	38,30	39,4%	43,56	34,7%	40,85	37,0%	60,57	24,9%	49,06	30,8%
Pirapitingui (ZXP), km 186,143	**Botuxim (ZDY), km 180,738**	38,6%	31,75	47,6%	34,90	43,3%	34,25	44,1%	43,28	34,9%	35,84	42,1%
Botuxim (ZDY), km 180,738	**Dona Catarina (ZDI), km 174,062**	24,8%	43,24	34,9%	50,65	29,8%	46,60	32,4%	77,17	19,6%	73,19	20,6%
Dona Catarina (ZDI), km 174,062	**Eng. Acrisio (ZER), km 166,755**	16,5%	53,61	28,2%	64,98	23,2%	66,43	22,7%	117,15	12,9%	88,73	17,0%
Eng. Acrisio (ZER), km 166,755	**Capricórnio (ZCX), km 161,233**	22,5%	44,90	33,7%	52,66	28,8%	49,48	30,6%	78,09	19,4%	64,73	23,4%
Capricórnio (ZCX), km 161,233	**Pantojo Santista (ZPS), km 157,790**	41,3%	30,72	49,3%	33,30	45,5%	33,51	45,2%	38,96	38,9%	32,95	46,0%
Pantojo Santista (ZPS), km 157,790	**Guaianã (ZGA), km 148,434**	25,6%	41,64	36,4%	48,53	31,2%	44,47	34,1%	71,17	21,3%	60,58	25,0%
Guaianã (ZGA), km 148,434	**Canguera (ZKE), km 146,833**	24,6%	42,66	35,5%	49,86	30,4%	45,92	33,0%	57,14	26,5%	61,88	24,5%
Canguera (ZKE), km 76,200	**Parada do Carmo (ZWW), km 87,951**	72,6%	18,63	81,4%	17,00	89,2%	24,01	63,2%	22,40	67,7%	23,10	65,7%
Parada do Carmo (ZWW), km 87,951	**Caucaia do Alto (ZKW), km 100,369**	40,2%	31,03	48,9%	33,90	44,7%	33,64	45,1%	44,35	34,2%	34,26	44,3%
Caucaia do Alto (ZKW), km 100,369	**Parada de Linfa (ZLU), km 108,764**	40,4%	30,85	49,2%	33,75	44,9%	33,43	45,4%	43,00	35,3%	34,26	44,3%
Parada de Linfa (ZLU), km 108,764	**Aldeinha (ZWI), km 119,521**	40,3%	31,04	48,9%	33,91	44,7%	33,66	45,1%	44,07	34,4%	34,22	44,3%
Aldeinha (ZWI), km 119,521	**Itaquaciara (ZYQ), km 123,910**	40,0%	31,11	48,7%	34,04	44,6%	33,70	45,0%	41,01	37,0%	34,51	44,0%
Itaquaciara (ZYQ), km 123,910	**Embu-Guacu (ZEM), km 133,571**	42,1%	31,45	52,0%	34,40	47,6%	33,87	48,3%	44,68	36,6%	34,80	47,0%
Embu-Guacu (ZEM), km 133,571	**Eng. Marsilac (ZEJ), km 146,779**	32,0%	37,46	42,5%	42,81	37,2%	38,97	40,9%	60,88	26,2%	53,04	30,0%
Eng. Marsilac (ZEJ), km 146,779	**Represa Billings (ZRB), km 149,600**	30,8%	39,27	40,6%	43,50	36,6%	42,48	37,5%	56,30	28,3%	45,70	34,9%
Represa Billings (ZRB), km 149,600	**Evangelista de Souza (ZEV), km 158,997**	32,1%	37,14	42,9%	42,37	37,6%	38,77	41,1%	58,38	27,3%	49,82	32,0%

Evangelista de Souza (ZEV), km 65,860	**Eng. Ferraz (ZEZ), km 75,220**	41,9%	30,94	51,5%	33,93	47,0%	33,35	47,8%	43,49	36,6%	34,71	45,9%
Eng. Ferraz (ZEZ), km 75,220	**Pai Matias (ZXW), km 83,657**	40,4%	32,25	49,4%	35,04	45,5%	34,82	45,8%	46,08	34,6%	34,90	45,7%
Pai Matias (ZXW), km 83,657	**Acaraú (ZWU), km 102,100**	40,8%	31,50	50,6%	34,71	45,9%	33,78	47,2%	46,09	34,6%	36,02	44,2%
Acaraú (ZWU), km 102,100	**Paratinga (ZPT), km 106,504**	30,1%	40,77	39,1%	44,48	35,8%	45,17	35,3%	65,18	24,4%	45,88	34,7%
Paratinga (ZPT), km 106,504	**Gladson Moraes (ZGM), km 115,000**	39,3%	32,35	49,4%	35,77	44,6%	34,52	46,3%	46,26	34,5%	37,43	42,7%
Gladson Moraes (ZGM), km 115,000	**Vila Natal (ZZV), km 122,000**	42,1%	30,83	51,8%	33,77	47,3%	33,28	48,0%	42,40	37,7%	34,41	46,4%
Vila Natal (ZZV), km 122,000	**Pereque (ZPG), km 125,025**	26,1%	42,63	37,5%	48,89	32,7%	45,97	34,7%	65,53	24,4%	55,95	28,5%

Tabela 8.5: Resultados da Aplicação de Metodologias ao Corredor Ribeirão Preto - Uberaba (FCA)

Estação A	Estação B	406R		COLSON		405R		RENFE		TRF		Gráfica	
Nome	Nome	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação
Ribeirão Preto (ZRP), km 296,898	Jardinópolis (ZJN), km 316,741	-	77,5%	10,50	75,7%	10,04	79,1%	16,83	47,2%	11,06	71,8%	11,22	70,8%
Jardinópolis (ZJN), km 316,741	Coronel Pereira Lima (ZKR), km 331,951	-	47,5%	16,56	48,0%	15,58	51,0%	22,59	35,2%	18,10	43,9%	18,48	43,0%
Coronel Pereira Lima (ZKR), km 331,951	Orlândia (ZOL), km 353,454	-	86,1%	9,49	83,7%	9,02	88,0%	15,92	49,9%	9,94	79,9%	10,07	78,8%
Orlândia (ZOL), km 353,454	São Joaquim da Barra (ZHB), km 375,647	-	79,3%	10,35	76,7%	10,03	79,2%	16,70	47,5%	11,00	72,2%	11,05	71,8%
São Joaquim da Barra (ZHB), km 375,647	Ituverava (ZYW), km 401,450	-	90,4%	9,09	87,4%	8,74	90,8%	15,56	51,0%	9,53	83,3%	9,61	82,6%
Ituverava (ZYW), km 401,450	Aramina (ZWA), km 435,999	-	95,3%	7,53	89,6%	7,20	93,6%	14,10	47,8%	7,83	86,1%	7,88	85,5%
Aramina (ZWA), km 435,999	Babaçu (ZQQ), km 460,660	-	79,2%	9,10	74,1%	8,55	78,8%	15,73	42,8%	9,59	70,3%	9,63	70,0%
Babaçu (ZQQ), km 460,660	Uberaba (ZUB), km 477,448	-	77,7%	9,23	72,8%	8,93	75,2%	15,87	42,3%	9,65	69,6%	9,77	68,7%

Tabela 8.6: Resultados da Aplicação de Metodologias para a Estrada de Ferro Carajás

Estação A	Estação B	406R		COLSON		405R		RENFE		TRF		Gráfica	
Nome	Nome	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação	Cap. Prática	Ocupação
Ponta da Madeira (QPM), km 0,000	Rosário (QRO), km 39,000	-	49,1%	22,58	47,5%	17,94	59,8%	23,09	46,5%	24,60	43,6%	25,33	42,4%
Rosário (QRO), km 39,000	Santa Inês (QSI), km 213,000	-	97,2%	18,32	95,7%	16,11	108,9%	24,23	72,4%	20,54	85,4%	20,07	87,4%
Santa Inês (QSI), km 213,000	Nova Vida (QNV), km 384,000	-	82,3%	21,33	82,1%	18,58	94,3%	25,40	69,0%	24,07	72,8%	23,76	73,7%
Nova Vida (QNV), km 384,000	Açailândia (QAL), km 513,000	-	43,6%	38,66	45,3%	38,26	45,8%	33,82	51,8%	47,77	36,7%	47,52	36,9%
Açailândia (QAL), km 513,000	Marabá (QMA), km 738,000	-	82,2%	19,17	80,2%	16,30	94,2%	23,11	66,5%	19,79	77,7%	21,10	72,8%
Marabá (QMA), km 738,000	Serra Leste (QSL), km 831,342	-	71,1%	21,86	70,3%	16,30	94,2%	23,11	66,5%	32,21	47,7%	24,42	62,9%
Serra Leste (QSL), km 831,342	Entrocamento Serra Sul (QRS), km 859,417	-	79,1%	19,69	77,5%	17,82	85,7%	23,89	63,9%	22,92	66,6%	21,74	70,2%
Entrocamento Serra Sul (QRS), km 859,417	Paraupebas (QPA), km 861,000	-	77,6%	19,81	76,3%	17,86	84,6%	23,85	63,4%	23,62	64,0%	21,89	69,1%
Paraupebas (QPA), km 861,000	Carajás (QCA), km 891,000	-	77,8%	19,81	76,5%	17,86	84,8%	23,86	63,5%	11,60	130,6%	21,89	69,2%
Entrocamento Serra Sul (QRS), km 0,000	Serra Sul (QSS), km 86,969	-	75,4%	19,90	74,2%	17,12	86,2%	23,28	63,4%	21,52	68,6%	21,99	67,1%