

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DEMANDA DE
TERMINAIS INTEGRADORES EM UMA MALHA
FERROVIÁRIA: UM ESTUDO DE CASO DOS
TERMINAIS DE AÇÚCAR E SOJA DO CORREDOR
CENTRO-SUDESTE**

Maurício de Oliveira Sotero Teixeira

Belo Horizonte

2015

Maurício de Oliveira Sotero Teixeira

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DEMANDA DE
TERMINAIS INTEGRADORES EM UMA MALHA
FERROVIÁRIA: UM ESTUDO DE CASO DOS
TERMINAIS DE AÇÚCAR E SOJA DO CORREDOR
CENTRO-SUDESTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientador(a): Prof. Dr. David José Ahouagi Vaz de Magalhães

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2015

T266a

Teixeira, Maurício de Oliveira Sotero.

Avaliação do potencial de demanda de terminais integradores em uma malha ferroviária [Manuscrito]: um estudo de caso dos terminais de açúcar e soja do corredor Centro-Sudeste / David José Ahouagi Vaz de Magalhães. – 2015.

xi, 92 f., enc.: il.

Orientador: David José Ahouagi Vaz de Magalhães.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui anexos.

Bibliografia: f.78-84.

1. Engenharia de transportes - Teses. 2. Terminais ferroviários - Teses. 3. Programação linear - Teses. 4. Açúcar - Teses. 5. Soja - Teses. I. Magalhães, David José Ahouagi Vaz de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656(043)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação do potencial de demanda de terminais integradores em uma malha ferroviária: um estudo de caso dos terminais de açúcar e soja do corredor Centro-Sudeste

MAURÍCIO DE OLIVEIRA SOTERO TEIXEIRA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 29 de junho de 2015, pela banca constituída pelos membros:

Prof. David Jose Ahouagi Vaz de Magalhães - Orientador
UFMG

Prof. Antonio Artur de Souza
UFMG

Prof. Nilson Tadeu Ramos Nunes
UFMG

Prof. Marcelo Franco Porto
UFMG

Belo Horizonte, 29 de junho de 2015.

Dedico este trabalho à minha companheira, amiga,
noiva e grande amor da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador Professor Dr. David pela sua disponibilidade, seus conselhos e pela confiança depositada neste trabalho.

Também um agradecimento especial à Professora Dra. Heloisa Barbosa por ter me incentivado a entrar nessa jornada e ser exemplo de paixão pelo ensino.

À Kátia, sempre muito prestativa na condução da secretaria do Mestrado.

À todos os professores do curso ao qual tive o privilégio de absorver um pouco de conhecimento.

Aos colegas do ETG pela troca de experiência e trabalho em conjunto.

Ao meu antigo gestor Alexandre Fontes que durante boa parte desse desafio sempre me apoiou e permitiu que alcançasse essa vitória.

Aos meus colegas de trabalho, pela compreensão e suporte durante as minhas ausências na empresa.

Um agradecimento mais do que especial às pessoas que amo e que em muitos momentos não pude estar ao lado nos últimos anos, mas sempre me apoiaram: à minha noiva Bruna, minha mãe, minhas irmãs, minha afilhada, meus familiares e amigos.

RESUMO

Quando se compara o Brasil a outros países de grandes dimensões territoriais como Rússia, Estados Unidos e Canadá, verifica-se claramente a distorção da matriz brasileira de transporte que se assemelha mais com a matriz de países com dimensões reduzidas, como Alemanha e França. Um fator decisivo para a atração de tráfego para o modo ferroviário é a existência de terminais intermodais rodoferroviários estrategicamente localizados na rede de transporte a fim de se possibilitar o acesso das cargas à ferrovia. Dada a relevância dos terminais para a atração de cargas para a ferrovia, assim como o aumento dos investimentos realizados no setor nos últimos anos, torna-se fundamental criar uma metodologia para melhor direcionar os investimentos relacionados à criação de novos terminais ou expansão dos existentes. Desta forma, o presente trabalho propõe uma metodologia para estimar, em diferentes cenários, o potencial de atração de demanda de cada terminal em uma malha ferroviária, permitindo identificar quais apresentam uma capacidade abaixo do seu potencial de demanda e que conseqüentemente deveriam ser priorizados para uma possível expansão. A principal inovação deste estudo está no aperfeiçoamento de um modelo de otimização de fluxo de custo mínimo com o objetivo de melhor avaliar as interações nos nós da malha. Com isso, permite-se uma análise da utilização dos terminais em uma malha otimizada. A fim de se validar o modelo, realizou-se um estudo de caso do fluxo de exportação de soja e açúcar no corredor ferroviário Centro-Sudeste. Analisou-se a utilização dos terminais deste fluxo em diferentes cenários, servindo de insumo para estudos de futuros investimentos neste corredor. A metodologia mostrou-se de fácil aplicação e consistente em seus resultados obtidos.

Palavras chaves: terminais ferroviários, modelo de fluxo de custo mínimo, programação linear, exportação, soja, açúcar, corredor Centro-Sudeste

ABSTRACT

When we compare Brazil to other countries with large territorial dimensions as Russia, the United States and Canada, we can observe that there is a huge distortion in the Brazilian transport matrix, which is more similar to those with small dimensions countries, such as Germany and France. A decisive factor in attracting traffic to the railway is the existence of intermodal rail-road terminals strategically located in the transport network in order to allow the access of the railway loads. Given the importance of the terminal to attract cargo to the railroad, as well as increased investments in the sector in recent years, it is essential to create a methodology to better target investments related to creation of new or the expansion of existing terminals. Thus, this paper proposes a methodology to estimate, in different scenarios, the potential demand for each terminal in a rail network. So it will be possible identify which terminals have a capacity below their demand potential and therefore should be prioritized for a possible expansion. The main innovation of this study is the improvement of a minimum cost flow optimization model in order to better assess the interactions at the nodes in a network. Thus, it allows a better analysis of the use of terminals in an optimized network. In order to validate the model, it was conducted a case study of soybean and sugar export flows in the Mid-Southeast rail corridor. Thus, the paper analyzes the use of terminals of these flows under different scenarios, serving as input for studies of future investments in this corridor. The methodology proved to be easy to use and consistent in your results obtained.

Keywords: rail terminals, minimum cost flow model, linear programming, exportation, soybean, sugar, Mid-Southeast rail corridor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	4
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
2	REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1	FLUXO DE CUSTO MÍNIMO.....	7
2.2	P-MEDIANAS	10
3	METODOLOGIA	12
3.1	ETAPAS DO TRABALHO	12
3.2	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA.....	14
4	IDENTIFICAÇÃO DA DEMANDA DE TRANSPORTE.....	20
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS FLUXOS A SEREM ESTUDADOS.....	20
4.2	O AÇÚCAR	22
4.2.1	<i>Comércio internacional do açúcar</i>	24
4.3	A SOJA.....	27
4.3.1	<i>Comércio internacional da soja</i>	30
5	CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA DO SISTEMA DE TRANSPORTE.....	34
5.1	VETORES LOGÍSTICOS	34
5.2	SISTEMA FERROVIÁRIO.....	35
5.2.1	<i>Histórico Brasileiro</i>	35
5.2.2	<i>Oferta Atual</i>	38
5.2.3	<i>Custo de Transporte</i>	47
5.3	SISTEMA RODOVIÁRIO	50
5.3.1	<i>Histórico Brasileiro</i>	50
5.3.2	<i>Oferta</i>	50
5.3.3	<i>Custo do Transporte</i>	53
6	ALOCAÇÃO DOS FLUXOS NA REDE DE TRANSPORTE	56
6.1	ALOCAÇÃO COM TARIFA FERROVIÁRIA MÁXIMA	56
6.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM RELAÇÃO AO CUSTO FERROVIÁRIO	56
6.3	ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS TERMINAIS DE AÇÚCAR	58
6.4	ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS TERMINAIS DE SOJA	59
6.5	ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NOS MESES DE PICO.....	60
6.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM RELAÇÃO À INTRODUÇÃO DE NOVO TERMINAL.....	62
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
7.1	PROPOSTAS PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICE	74

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Estrutura da dissertação</i>	5
<i>Figura 2 – Etapas do trabalho</i>	12
<i>Figura 3 – Exportação pelo porto de Santos</i>	21
<i>Figura 4 – Cadeia produtiva do setor sucroenergético</i>	24
<i>Figura 5 – Exportação mundial de açúcar (2013/14)</i>	25
<i>Figura 6 – Importação mundial de açúcar (2013/14)</i>	25
<i>Figura 7 – Exportação de açúcar pelo porto de Santos (SP)</i>	26
<i>Figura 8 – Exportação estimada de açúcar por município pelo porto de Santos (SP)</i>	27
<i>Figura 9 – Produção brasileira de soja por região</i>	29
<i>Figura 10 – Cadeia produtiva da Soja</i>	30
<i>Figura 11 – Exportação mundial de soja</i>	31
<i>Figura 12 – Exportação de soja pelo porto de Santos em 2014</i>	32
<i>Figura 13 – Exportação estimada de soja por município pelo porto de Santos em 2014</i>	33
<i>Figura 14 – Vetores logísticos brasileiros</i>	34
<i>Figura 15 – Mapa da Ferrovia Centro Atlântica</i>	40
<i>Figura 16 – Mapa da ALLMP</i>	44
<i>Figura 17 – Mapa da ALLMN</i>	46
<i>Figura 18 – Mapa dos municípios exportadores e a malha ferroviária</i>	47
<i>Figura 19 – Densidade de malha rodoviária pavimentada por país</i>	51
<i>Figura 20 – Ranking mundial de competitividade de estradas</i>	52
<i>Figura 21 – Mapa município exportadores e malha rodoviária</i>	53
<i>Figura 22 – Frete rodoviário de soja</i>	54
<i>Figura 23 – Frete Rodoviário de soja ajustado por faixas</i>	54
<i>Figura 24 – Frete rodoviário de açúcar ajustado por faixas</i>	55
<i>Figura 25 – Variação do market share a partir da variação da tarifa ferroviária</i>	57
<i>Figura 26 – Variação do faturamento a partir da variação da tarifa ferroviária</i>	57
<i>Figura 27 – Exportação mensal de açúcar e soja em 2014</i>	61

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1- Balança Comercial Brasileira e do Agronegócio.....</i>	<i>1</i>
<i>Tabela 2- Comparação matriz de transporte entre países.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabela 3 – Principais investimentos das concessionárias ferroviárias (em milhões de R\$).....</i>	<i>3</i>
<i>Tabela 4 – Volume exportado por porto brasileiro em 2014, não considerando minério de ferro.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 5 – Descrição dos produtos de acordo com SH.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 6 – Dez municípios maiores produtores de cana-de-açúcar em 2013.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 7 – Dez municípios maiores produtores de soja em 2013.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 8 – Desestatização da RFFSA.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 9 – Periodização das ferrovias no Brasil.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 10 – Terminais de açúcar da FCA.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 11 – Terminais de soja da FCA.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 12 – Terminais de açúcar da ferrovias ALLMP.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 13 – Terminais de soja da ferrovias ALLMN.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 14 – Tarifa de transporte de carga da ALLMN.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 15 – Tarifa de transporte de carga da FCA.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 16 – Tarifa de transporte de carga da ALLMP.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 17 – Potencial de demanda dos terminais com a tarifa máxima ferroviária.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 18 – Potencial de Utilização do terminais de Açúcar.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 19 – Potencial de utilização dos terminais de Soja.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 20 – Utilização dos terminais de açúcar nos meses de pico.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 21 – Potencial de utilização dos terminais de soja nos meses de pico.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 22 – Potencial de demanda do terminal de Uberaba.....</i>	<i>63</i>

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ALL	América Latina Logística
ALLMN	América Latina Logística Malha Norte
ALLMP	América Latina Logística Malha Paulista
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CADE	Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CIA	Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EUA	Estados Unidos da América
ES	Estado do Espírito Santos
FEPASA	Ferrovias Paulista S.A.
FERROBAN	Ferrovias Bandeirantes S.A
FERRONORTE	Ferrovias Norte Brasil S.A
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FCA	Ferrovias Centro Atlântica
GO	Estado de Goiás
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILOS	Instituto de Logística e Supply Chain
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MG	Estado de Minas Gerais
MT	Estado de Mato Grosso
Mtu	Milhões de toneladas úteis transportadas
MS	Estado do Mato Grosso do Sul
PIB	Produto Interno Bruto
PND	Programa Nacional de Desestatização
PR	Estado do Paraná
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S.A.
RJ	Estado do Rio de Janeiro
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIFRECA	Sistema de Informações de Frete
SP	Estado de São Paulo
SH	Sistema Harmonizado
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
VLI	Valor da Logística Integrada

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

O agronegócio é a atividade econômica mais lucrativa ao Brasil, fato que pode ser comprovado pelo resultado da balança comercial brasileira. A sua competitividade vem se destacando nos últimos anos, nos quais o setor atingiu um superávit comercial em média de 76,6 bilhões de dólares, enquanto a economia brasileira em média 13,6 bilhões de dólares conforme pode-se verificar na Tabela 1.

Tabela 1- Balança Comercial Brasileira e do Agronegócio

Ano	Exportações			Saldo	
	Total Brasil (A)	Agronegócio (B)	Part.% (B/A)	Total Brasil	Agronegócio
2010	201,915	76,442	37,86	20,147	63,043
2011	256,040	94,968	37,09	29,793	77,460
2012	242,578	95,814	39,50	19,395	79,405
2013	242,179	99,968	41,28	2,558	82,907
2014	225,101	96,748	42,98	-3,959	80,134
Média	233,562	92,788	39,741	13,587	76,590

Fonte: Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento, 2015

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2015), poucos países aumentaram a participação no comércio internacional do agronegócio como o Brasil desde o final de 1990. Atualmente, o país é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, sendo o primeiro produtor e exportador de café, açúcar, etanol e suco de laranja, e lidera o ranking das vendas externas do complexo de soja (grão, farelo e óleo). No início de 2010, um quarto dos produtos do agronegócio em circulação no mundo eram brasileiros e, segundo projeção do Ministério da Agricultura, esta participação aumentará para um terço, em função da crescente demanda dos países asiáticos.

O desenvolvimento da agricultura necessita de uma infraestrutura adequada ao escoamento da sua produção. Isso porque, seus produtos possuem um menor valor agregado, o que exige um maior esforço de transporte e conseqüentemente um maior custo. Estima-se que o participação dos custos de transportes no preço final dos produtos agrícolas no atacado represente mais que o dobro em relação aos produtos manufaturados (Reis, 2007 apud Caixeta-Filho 2001).

Sabe-se que o modo ferroviário é o meio de transporte terrestre de carga de menor custo variável, em especial devido a sua eficiência energética. A título de comparação, com um galão (3,785 l) de combustível é possível transportar pela ferrovia uma tonelada de carga por 337 km, enquanto por caminhão, apenas 98 km (Rodríguez, 2013).

Porém, o modo ferroviário foi responsável por apenas 30% da movimentação de carga no país em 2011 (Ministério de Transportes, 2012). Quando se compara o Brasil a outros países de grandes dimensões territoriais como Rússia, Estados Unidos e Canadá, verifica-se claramente a distorção da matriz brasileira que se assemelha mais com a matriz de países com dimensões reduzidas, como Alemanha e França, vide Tabela 2.

Tabela 2- Comparação matriz de transporte entre países.

Países	Rodovia	Ferrovia	Hidrovia
Rússia	8 %	81 %	11 %
Estados Unidos	32 %	43 %	25 %
Canadá	43 %	46 %	11 %
Áustria	49 %	45 %	6 %
Austrália	53 %	43 %	4 %
México	55 %	11 %	34 %
Brasil	58 %	25 %	17 %
Alemanha	71 %	15 %	14 %
França	81 %	17 %	2 %

Fonte: Ministério Transportes, 2012.

Segundo relatório do ILOS (2011), um dos reflexos desse desequilíbrio na matriz de transporte brasileira é o elevado custo logístico: 10,6% do PIB nacional, contra 7,7% do PIB nos EUA. Os gastos das empresas brasileiras com logística correspondem a 8,5% da sua receita líquida anual, sendo o transporte mais de metade destes custos (54%). O relatório também aponta que o custo do transporte rodoviário é mais do que o dobro do hidroviário e 66% maior do que o ferroviário.

Nos últimos anos, as concessionárias ferroviárias estão investindo fortemente no aumento da eficiência, confiabilidade e capacidade de suas operações, através da renovação de material rodante (vagões e locomotivas) e na recuperação da linha férrea (tanto em superestrutura e infraestrutura da via), Tabela 3.

Tabela 3 – Principais investimentos das concessionárias ferroviárias (em milhões de R\$)

Discriminação	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Material Rodante*	1.040	1.076	2.032	829	766	1.534	929	873
Infraestrutura	362	347	525	426	1.024	1.523	1.388	1.714
Superestrutura	2	86	161	127	730	715	1.048	495
Telecomunicações	17	8	7	10	11	34	54	42
Sinalização	57	82	89	116	75	167	194	160
Oficinas	60	65	186	76	74	86	127	122
Capacitação de Pessoal	15	18	21	18	27	26	32	25
Veículos Rodoviários	3	1	4	1	4	4	5	11
Outros Investimentos**	231	339	336	295	524	838	1.100	1.872
Total	1.787	2.021	3.363	1.898	3.235	4.927	4.877	5.313

* Vagão, Locomotiva, outros veículos e equipamentos e carros de passageiro.

** Meio ambiente, edificações, informatização e outros.

Fonte: ANTT, 2014b

Segundo Magee (1977, apud Widmer, 2005), a atração de tráfego para o modo ferroviário pressupõe a existência de terminais intermodais rodoferroviários estrategicamente localizados na rede de transporte a fim de se promover o acesso das cargas a ferrovia. Mello (2012) reforça que a integração física entre os meios de transporte é realizada através dos terminais de transferência, e sendo, portanto, seu desenvolvimento fundamental a intermodalidade.

Dada a relevância dos terminais para a atração de cargas para a ferrovia e o aumento dos investimentos realizados pelas concessionárias, torna-se fundamental criar uma metodologia para melhor direcionar os investimentos relacionados a criação de novos terminais ou expansão dos existentes. Desta forma, o presente trabalho propõe uma metodologia para estimar, em diferentes cenários, o potencial de atração de demanda de cada terminal em uma malha ferroviária. Assim, espera-se identificar quais terminais possuem uma capacidade abaixo do seu potencial de demanda e que conseqüentemente deveriam ser priorizados para uma possível expansão.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo geral desta pesquisa foi *desenvolver uma metodologia para avaliar o potencial de demanda para um terminal rodoferroviário de carga, por meio da otimização de uma rede de transporte.*

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

1. Desenvolver um modelo de otimização de custo mínimo de transporte capaz de avaliar o potencial de demanda de um terminal intermodal para o embarque de vários produtos;
2. Identificar a malha ferroviária do escopo da pesquisa: traçado, terminais, restrições de capacidade;
3. Avaliar o potencial de demanda dos terminais de açúcar e soja do corredor Centro-Sudeste em relação à sua capacidade nominal;
4. Analisar a sensibilidade do modelo quanto à variação da tarifa de transporte ferroviária em relação a distribuição modal;
5. Avaliar o impacto da inserção de um novo terminal na distribuição dos fluxos de transporte;

1.3 Justificativa e Relevância

A principal inovação deste estudo está no aperfeiçoamento de um modelo de otimização de alocação de fluxos com o objetivo de melhor avaliar as interações nos nós da malha. Com isso, permite-se uma análise melhor da utilização dos terminais em uma malha otimizada.

A fim de se validar o modelo, é realizado um estudo de caso do fluxo de exportação de soja e açúcar no corredor ferroviário Centro-Sudeste. Desta forma, o trabalho analisa a utilização dos terminais deste fluxo em diferentes cenários, servindo de insumo para estudos de futuros investimentos neste corredor.

Segundo Vasconcelos (2009), as vantagens de um sistema intermodal são a redução do consumo energético e da poluição, a redução do número de acidentes, de congestionamentos rodoviários, do custo das operações logísticas e das despesas com seguros contra roubos. Entre as desvantagens, o autor destaca o aumento do tempo total de transporte e a redução da flexibilidade.

Leunig (2010) relaciona vários trabalhos que comprovam que ao longo da história a construção e expansão de estradas de ferro impactaram significativamente no aumento do PIB e do retorno social de vários países. A ferrovia proporcionou a redução de custo e tempo do transporte inter-regional, retornos crescentes de escala de produção, além da realocação de atividades econômicas.

De fato, a implantação de um grande empreendimento de infraestrutura logística, como é o caso da construção de vias férreas e terminais de carga, causa grandes impactos positivos em sua área de influência, sejam sociais, econômicos e ambientais (Thiago, 2014; Barros, 2008)

1.4 Organização do trabalho

Além do presente capítulo introdutório no qual foram apresentados o tema, objetivos e relevância do trabalho, os demais capítulos são distribuídos conforme ilustrado na Figura 1.

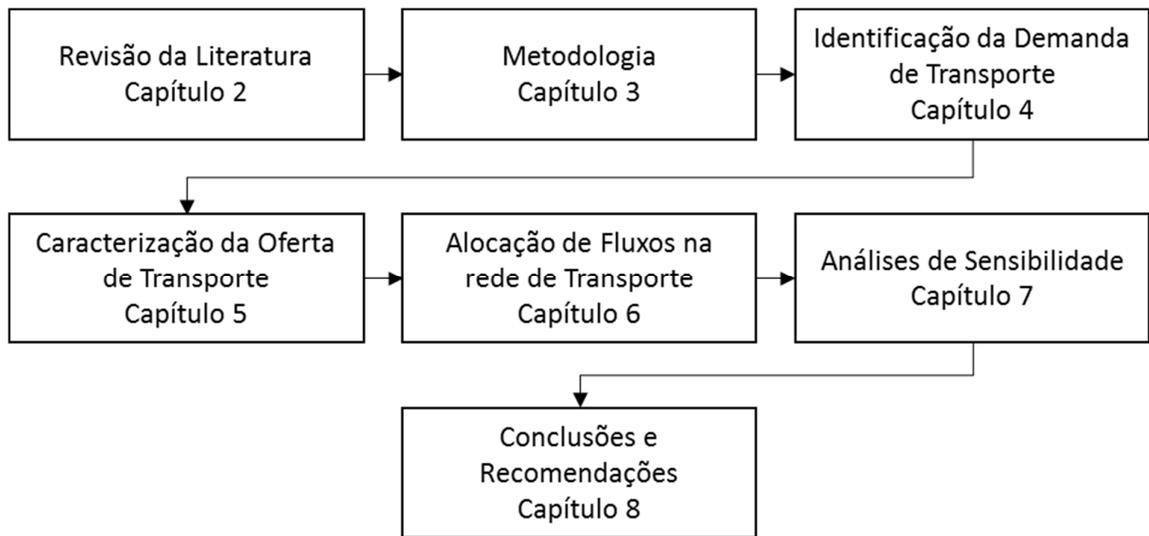


Figura 1 – Estrutura da dissertação

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, identificando os principais trabalhos com o tema intermodalidade rodoferroviária que utilizam os métodos de otimização, em especial, o fluxo de custo mínimo e p-medianas.

O terceiro capítulo detalha a metodologia utilizada na pesquisa, descrevendo as etapas do estudo e a formulação matemática desenvolvida. Nele é descrito o método de custo mínimo no qual foi baseado a metodologia, e apresentado um novo método aprimorado.

No quarto capítulo é realizada a identificação da demanda de transporte de interesse. São delimitados os fluxos de exportação de soja e açúcar a serem analisados e explicitado a importância destes produtos no contexto atual e histórico do Brasil.

No capítulo seguinte é caracterizada a oferta de transporte. Nele são identificadas as principais vias de transportes disponíveis para a alocação dos fluxos selecionados, sendo descritos os

principais trechos ferroviários com os seus respectivos terminais intermodais. Também são levantados os valores de fretes rodoviários praticados e apresentados os valores máximos de frete ferroviário regulamentados pela Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT).

No sexto capítulo é utilizado o modelo matemático, anteriormente apresentado na metodologia, para identificar quais são as rotas otimizadas para os fluxos mapeados. São analisados os primeiros resultados do modelo, considerando os valores máximos de frete ferroviário.

No capítulo seguinte, são realizadas as seguintes análises de sensibilidade do modelo: em relação ao custo ferroviário, ao custo rodoviário e em relação à introdução de um novo terminal rodoferroviário. Também são realizadas análises de capacidades dos terminais afim de se verificar os terminais de maior potencial de atração de carga.

Por fim, no último capítulo são realizadas as considerações finais do estudo. É avaliada a eficácia do modelo, indicando suas aplicações, suas restrições e possíveis trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Entre os técnicas mais utilizados para estimar demanda de carga em uma rede intermodal, destacam-se os de Fluxo de Custo Mínimo (*Minimum Cost Flow Problem*) e, de forma complementar, em relação à de alocação de novos terminais, o modelo das P-medianas (*p-Hub median*). Este capítulo está estruturado em duas seções, a primeira sobre Fluxo de Custo Mínimo e a segunda sobre P-medianas.

2.1 Fluxo de Custo Mínimo

Segundo Ahuja (1993), o modelo de Fluxo de Custo Mínimo é o mais fundamental de todos os problemas de fluxo de redes e pode ser descrito como um meio para determinar o menor custo de transporte de uma *commodity* em uma rede de transporte com o objetivo de suprir a demanda de determinados nós a partir do fornecimento disponível em outros. Ele é definido a seguir.

Dado uma rede $G = (N, A)$ composta por um conjunto N de n nós e um conjunto A de m arcos. Cada arco (i, j) possui um custo associado $c(i, j)$ que corresponde o custo de transporte de uma unidade por esse arco. É assumido que o custo varia linearmente com a quantidade do fluxo. A variável de decisão é o fluxo no arco (i, j) que é representado por x_{ij} . Desta forma, a função objetivo é minimizar:

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{\{j:(i,j) \in A\}} x_{ij} - \sum_{\{j:(j,i) \in A\}} x_{ji} = b(i), \quad \forall i \in N \quad (2)$$

e

$$l_{ij} \leq x_{ij} \leq u_{ij}, \quad \forall (i, j) \in N \quad (3)$$

É associado a cada nó $i \in N$ um número inteiro $b(i)$ que representa a sua demanda ou oferta. Quando $b(i) > 0$, esse nó representa um nó de oferta (*supply node*) e, quando $b(i) < 0$, o nó

é de demanda (*demand node*) que possui uma demanda associada de $-b(i)$. Quando $b(i) = 0$, ele é um nó de transbordo (*transshipment node*).

Desta forma, a equação (2) é uma restrição de balanço de massa. A primeira parcela representa a total de fluxo saindo do nodo e a segunda o total de fluxo entrando. A restrição garante que o fluxo que entra subtraído do que sai deve ser igual a demanda ou a oferta deste nó. E, na restrição (3), é associada uma capacidade u_{ij} que representa a quantidade máxima possível de ser transportada no arco, e l_{ij} a quantidade mínima permitida. Tipicamente estes limites modelam as capacidades ou restrições físicas impostas aos fluxos, e em maior parte dos casos, o limite inferior é zero.

Quando mais de uma *commodity* passa a utilizar a mesma rede de transporte, dá-se o nome de problema de *multicommodity*. Desta forma, as *commodities* têm diferentes origens e destinos, e cada uma possui restrições de capacidade para cada nó da rede. Utilizando estes modelos, podem-se destacar os trabalhos a seguir.

Morales (1993) apresenta um método de auxílio à tomada de decisão de um corredor ferroviário baseado em um modelo de otimização de Fluxo de Custo Mínimo. A partir dele é possível determinar a rota de menor custo para um fluxo a ser transportado, alocando na malha toda a demanda disponível, identificando gargalos e definindo alternativas de projetos de capacidade para a ferrovia.

Pompermayer (1997, apud Reis (2007)) desenvolveu um modelo de alocação de fluxos multiprodutos de carga em uma rede multimodal com os modos tradicionais de transportes. A partir da alocação de matrizes de origem-destino, o modelo identifica o caminho multimodal de menor custo total.

Caixeta Filho (2001, apud Reis (2012)) estimou a demanda potencial para o transporte de soja, de grãos e farelo de soja no Estado do Paraná através do uso de modelo de programação linear, utilizando um modelo de alocação de fluxos.

Arnold (2004) avalia a localização de terminais rodoferroviários para transporte de carga na península Ibérica. É desenvolvido um modelo de custo mínimo baseado no modelo de *multicommodity* com preço fixo que considera um terminal não como um vértice, mas como um arco em um grafo. Desta forma, o novo modelo reduz significativamente o número de

variáveis em comparação com o modelo tradicional. São avaliados cinco cenários nos quais são variados os custos de transporte.

Silva (2005) investiga as principais alternativas de transporte para a exportação de açúcar. São avaliados três cenários: rodoviário porta-a-porta, outro rodoferroviário com restrição e um terceiro rodoferroviário sem restrição. Ele utiliza o software *TransCAD* para encontrar os fluxos de caminho mínimo.

Branco (2007) estima a capacidade de atração de carga da Ferrovia Norte-Sul através de elaboração de um modelo de programação linear baseado em um Modelo de Fluxo de Custo Mínimo para a resolução de problemas de *Multicommodity Flows* baseado em Ahuja (1993).

Reis (2007) estima a demanda potencial para o transporte ferroviário de açúcar na malha Centro-Sul utilizando um modelo de fluxo de custo mínimo. São identificados os gargalos para uma possível expansão da produção de açúcar, assim como detalhadas as alternativas de escoamento e os diversos custos calculados. A fatia destinada ao modo rodoviário e a quantidade detalhada por portos são também encontradas.

Fernandes (2010) utiliza de um modelo de otimização de custo mínimo a fim de se identificar a melhor rota de exportação para farelo de soja produzido no sudoeste goiano. São avaliadas rotas que utilizam da combinação dos modos rodoviário, ferroviários e hidroviários.

Morales (2012) propõe uma configuração ótima para a rede futura de oferta de transporte para o escoamento de soja do norte do estado do Mato Grosso para o porto de Santarém. Para isto ele utiliza o algoritmo de fluxo de custo mínimo de Busacker e Gowen (1961).

Silva (2012) utiliza-se de um modelo de custo mínimo para avaliar seis rotas de exportação de soja a partir da cidade de Sorriso (MT). O trabalho apresenta uma comparação entre a utilização atual dos portos para a exportação deste fluxos e a utilização proposta.

Branco (2012) estima o potencial de captação de cargas agrícolas para os modos ferroviário e hidroviário do Corredor Centro-Norte. Para a simulação dos fluxos de carga e da escolha das combinações de transporte e rotas, a fim de se atingir o menor custo global de transporte, desenvolveu-se um modelo com base no Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto – (*Multicommodity Minimum Cost Flow Problem*), a partir de Ahuja (1993).

Almeida (2013) apresenta uma modelagem matemática baseada no modelo de transbordo (baseado no modelo de custo mínimo) para otimizar o escoamento da soja brasileira exportada para a China. Foi fixado o modo rodoviário como meio de transporte entre o produtor da soja e o porto de escoamento, e o marítimo como meio de transporte entre o porto de escoamento e o destino da carga. Após os primeiros resultados, foram simulados outros cenários nos quais variou-se a capacidade portuária identificando as alterações no resultado inicial.

2.2 P-medianas

Segundo Widmer (2005), o problema das p -medianas consiste em localizar um número pré-determinado de p instalações de forma a minimizar a soma das distâncias, ou custos, ponderados dessas instalações aos pontos da rede. Ele é solucionado a partir de um modelo de programação inteira-mista, pois além das variáveis lineares (inteiras) também possui variáveis binárias, correspondentes a implantação ou não das instalações. Utilizando este modelo na solução de problemas relacionados a intermodalidade pode-se destacar os trabalhos a seguir.

Widmer (2005) avalia a atratividade do transporte rodoferroviário de contêineres com destino e origem no Porto de Santos. Através do método das p -medianas, o autor identifica pontos promissores para a instalação de terminais intermodais no Estado de São Paulo a partir de um levantamento de dados dos fluxos de cargas containerizadas e o custo do transporte. Conclui-se que, para o modelo de custos adotado, os ganhos em relação à alternativa rodoviária porta-a-porta são significantes e marginalmente decrescentes.

Dubke (2006) utiliza-se de um modelo de programação inteira-mista cujo objetivo é maximizar o lucro do total do sistema de transporte, determinando quais plataformas logísticas ou terminais especializados devem ser abertos. A autora realiza um estudo de caso em corredores de exportação de soja no qual se avalia a viabilidade de um a seis terminais.

Ferrari (2006) utiliza um modelo programação inteira-mista de localização, visando à minimização dos custos logísticos envolvidos na exportação da soja brasileira. São considerados os custos operacionais envolvidos no armazenamento, custo de construção de novos armazéns e os custos de transportes das regiões produtoras aos armazéns e desses aos portos exportadores. O modelo identifica os melhores locais para instalar novos armazéns no estado de Mato Grosso.

Oliveira (2007) simula quatro cenários, com a instalações de novos terminais ferroviários, a fim de descobrir a distribuição espacial ótima de terminais para o transporte de açúcar no estado de São Paulo. Ela utiliza um modelo de programação linear inteira mista.

Limbourg (2009) propõe um procedimento iterativo baseado no método das p-medianas com o objetivo de determinar a localização ótima de um ou mais terminais em uma rede intermodal europeia existente.

Ishfaq (2011) desenvolve um modelo matemático baseado no método das p-medianas que engloba a dinâmica dos diferentes modos de transporte através de seus custos de transporte, custos de conectividade modais e custos fixos de localização, sob os requisitos de tempo de serviço. O autor propõe uma meta-heurística baseado na busca tabu para resolver problemas de grande porte (cem nós).

Amaral (2012) propõe um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais também baseado no método das p-medianas, com o objetivo de apoiar decisões de investimento em infraestrutura e roteirização na rede. Foram realizados testes para a rede de exportação da soja brasileira afim de demonstrar a coerência e o potencial de análise do modelo.

Mascarenhas (2014) utiliza o modelo de programação linear inteira mista desenvolvido por Oliveira (2007) a fim de identificar a localização ótima de armazéns em uma rede intermodal de transporte de soja no Estado de Mato Grosso. O objetivo do modelo é minimizar o custo total de transporte composto pelos custos rodoviário, ferroviário, dos armazéns e dos portos.

3 METODOLOGIA

O presente capítulo detalha toda metodologia desenvolvida para o trabalho. São relatadas todas as etapas do trabalho e o modelagem matemática desenvolvida.

3.1 Etapas do Trabalho

A fim de se estruturar a pesquisa, ela foi dividida em três etapas: identificação da demanda de transporte, caracterização da oferta do sistema de transporte e alocação dos fluxos na rede de transporte, Figura 2.

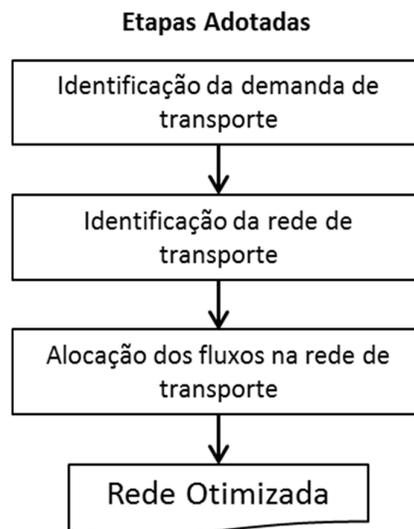


Figura 2 – Etapas do trabalho

A primeira etapa, **identificação da demanda de transporte**, teve como objetivo delimitar o escopo do trabalho identificando a demanda de transporte. Deste modo, foram definidos os produtos a serem considerados, os centros geradores de demanda e os centros geradores de oferta. Como a presente pesquisa teve por objetivo avaliar fluxos de exportação, utilizou-se os portos como centro gerador demanda e os municípios exportadores como centros de geração de oferta.

A fim de se obter os dados para o estudo, foi utilizado o Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior (AliceWeb) da Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2015), fonte de dados também utilizada nos trabalhos de Ferrari (2006), Branco (2007), Oliveira (2007) e Reis (2007). Os dados utilizados foram referentes à exportação de soja e açúcar para o porto de Santos ao longo do ano de 2014 dos maiores municípios exportadores que juntos representam 80% do total

exportado. Como forma de não desconsiderar a exportação dos municípios de menor representatividade, que somados correspondem a 20% do volume total de exportação, os seus valores foram distribuídos proporcionalmente entre os demais maiores.

Os dados de exportação por município do Sistema AliceWeb consideram o domicílio fiscal da empresa exportadora e não o local de produção do produto. Logo, foi necessário identificar os municípios produtores e exportadores, e não os domicílios fiscais das exportadoras, pois o objetivo era avaliar os custos de transporte do local de produção, e não dos domicílios fiscais, ao porto. Desta forma, foi realizada uma pesquisa no Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2015) na qual foi possível extrair os dados da produção de soja e açúcar por município brasileiro, conseguindo identificar os municípios fiscais não produtores destes produtos. Optou-se por redistribuir a exportação destes municípios proporcionalmente entre os demais exportadores de forma que o total exportado no ano fosse mantido.

Em seguida, na etapa de **identificação da rede de transporte**, foi delimitada a malha ferroviária disponível, identificando seu traçado e os terminais integradores com suas respectivas capacidades. Verificou-se que as concessionárias cujos trechos conectam os municípios exportadores de açúcar e soja ao porto de Santos são a Ferrovia Centro Atlântica, a ALL Malha Paulista e a ALL Malha Norte. Em seguida, foram calculados os fretes ferroviários entre cada terminal de embarque e o porto de Santos. Para este cálculo foi utilizado como referência o valor da tarifa máxima estipulada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

Por fim, foram levantados os custos de transporte rodoviário entre os municípios exportadores e o porto de Santos, assim como o frete entre os primeiros e os terminais de embarque. Estes valores foram extraídos do Informe Sifreca (2012), denominado ANUÁRIO 2012. Nele estão organizadas as informações sobre os fretes rodoviário médios praticados ao longo do ano de 2012. O Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA) é um projeto permanente da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e considerado pelos mesmos como a principal referência de mercado de fretes agrícolas no país. No anuário foram encontrados os valores médio dos fretes praticados em 70 rotas avaliadas pelo modelo, de um total de 612 rotas.

Os fretes encontrados no Informe foram agrupados em quatro faixas de distâncias (até 400 km, 400 a 800 km, 800 a 1600 km e acima de 1600 km) e para cada uma delas foi realizado o cálculo de regressão linear, de forma a encontrar equações que foram utilizadas para a estimativa do frete das rotas não encontradas. Estes cálculos foram realizados tanto para o transporte de açúcar

quanto para soja separadamente, pois possuem valores de frete diferentes. As distâncias rodoviárias das rotas não encontrada no Informe foram extraídas do aplicativo Google Earth.

Na última etapa, **alocação de fluxos na rede de transporte**, foi utilizado o método de programação linear, apresentado na seção 3.2, cuja função objetivo é minimizar o custo total de transporte. Através do método, os fluxos são alocados escolhendo as rotas de menor custo que podem utilizar os modos: rodoviário, da origem ao destino, ou intermodal, rodoviário da origem ao terminal de embarque e ferroviário do terminal ao porto. Desta forma, foi determinada a quantidade a ser transportada de cada produto por trecho, rodoviário e ferroviário, a fim de que seja atingido o custo mínimo de transporte. De posse destes valores, foi possível identificar o potencial de demanda dos terminais, ou seja, o quanto de carga, em milhões de toneladas, seria embarcado por cada terminal ferroviário em uma malha otimizada. Por fim, foram realizadas simulações de vários cenários, variando os custos e a demanda de transporte.

O modelo matemático foi resolvido utilizando o *solver* de programação linear Cplex, através do software General Algebraic Modeling System – GAMS. A implementação do modelo matemático está disponível no Apêndice A.

3.2 Formulação Matemática

Branco (2007) propõe um modelo de otimização baseado no modelo de custo de fluxo mínimo de Ahuja (1993). Branco divide a função objetivo do modelo original (1) em quatro parcelas, a primeira parcela representa o custo de transporte rodoviário da origem ao destino e as outras três parcelas representam os custos das etapas do transporte intermodal: rodoviário da origem ao terminal de embarque, ferroviário do terminal de embarque ao terminal de desembarque e a rodoviário do terminal de desembarque ao destino.

Branco (2007) também divide a restrição de balanço massa de Ahuja (2) em duas: uma para garantir que o fluxo que entra no terminal de embarque seja transportado pela ferrovia e outra que o fluxo que entra no terminal de desembarque seja transportado via rodoviário para o porto.

O modelo de Branco (2007) possui a limitação de otimizar os fluxos de apenas um produto. Desta forma, para o presente estudo, foi necessário modificar todas as equações do modelo de modo a considerar mais de um produto, tornando-o um modelo de custo mínimo

multicommodity. Branco (2012) também fez esta mesma melhoria, porém além de considerar mais de um produto, o autor separou os fluxos por canal de comercialização (mercado de exportação, importação ou doméstico). Como o presente estudo tem por objetivo avaliar apenas o mercado de exportação, optou-se por modificar o modelo de Branco (2007) em detrimento a utilizar o modelo de Branco (2012).

Além de ser necessário modificar o modelo de Branco (2007) em um modelo *multicommodity*, foi necessário inserir uma nova restrição ao modelo, de forma que representasse a capacidade dos terminais, que também não foi considerada em Branco (2012). Esta restrição é necessária a fim de que um terminal não embarque um volume maior de carga que sua capacidade. Assim, o modelo de Branco (2007) de fluxo de custo mínimo foi modificado para se tornar um modelo de fluxo de custo mínimo *multicommodity* capacitado.

Por fim, criou-se uma nova variável para avaliar a quantidade de carga embarcada em cada terminal. Esta variável é o principal resultado do modelo para o presente estudo, pois ela representa o potencial de atração de carga do terminal para cada um dos produtos avaliados.

A seguir, o modelo de otimização proposto é apresentado com suas as definições, parâmetros, variáveis, função objetivo e restrições.

Definições:

O: Origem

D: Destino

TE: Terminal de embarque

TD: Terminal de desembarque

P: Produto;

Parâmetros:

COD(P,O,D): Custo do transporte de um produto P da origem O ao destino D

$COT(P,O,TE)$: Custo do transporte de um produto P da origem O ao terminal de embarque TE

$CTT(P,TE,TD)$: Custo do transporte de um produto P de um terminal de embarque TE ao terminal de desembarque TD

$CTD(P,TD,D)$: Custo do transporte de um produto P de um terminal de desembarque TD ao destino D

$OM(P,O)$: Oferta de um produto P de uma determinada origem O

$DP(P,D)$: Demanda de um produto de um determinado destino D

$RE(P,TE)$: Restrição de capacidade de carga de um terminal TE para um produto P

Variáveis:

$FOD(P,O,D)$: Fluxo de um produto P da origem O ao destino D

$FOT(P,O,TE)$: Fluxo de um produto P da origem O ao terminal de desembarque TE

$FTT(P,O,TE,TD)$: Fluxo de um produto P, originado de O, de um terminal de embarque TE ao terminal de desembarque TD

$FTD(P,O,TD,D)$: Fluxo de um produto P, originado de O, de um terminal de desembarque TD ao destino D

$ETE(P,TE)$: Carga embarcada do produto P no terminal de embarque TE

3.2.1.1 Função Objetivo:

A função tem como objetivo minimizar o custo total de transporte, que pode ser calculado pela equação a seguir:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{o \in O} \sum_{d \in D} (FOD_{p,o,d} * COD_{p,o,d}) + \sum_{p \in TE} \sum_{o \in TE} \sum_{te \in TE} (FOT_{p,o,te} * COT_{p,o,te}) \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{o \in O} \sum_{te \in TE} \sum_{td \in TD} (FTT_{p,o,te,td} * CTT_{p,te,td}) \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{o \in O} \sum_{td \in TD} \sum_{d \in D} (FTD_{p,o,td,d} * CTD_{p,td,d})
\end{aligned} \tag{4}$$

A função objetivo é composta por quatro parcelas. A primeira representa o custo de transporte realizado unicamente pelo modo rodoviário da origem até o seu destino final, calculado pela quantidade transportada de determinado produto (FOD) multiplicada pelo seu custo de transporte (COD).

As três parcelas seguintes representam o custo de transporte dos produtos que utilizam um fluxo intermodal. Desta forma, a segunda parcela representa o custo de transporte rodoviário de um determinado produto da sua origem ao terminal de embarque ferroviário (FOT * COT), a seguinte o custo de transporte ferroviário do terminal de embarque ao terminal de desembarque (FTT * CTT) e a última parcela representa o custo rodoviário do terminal de desembarque ao destino final (FTD * CTD).

3.2.1.2 Restrições:

A seguir são listadas as cinco restrições do modelo do modelo.

Demanda:

$$\sum_{o \in O} (FOD_{p,o,d}) + \sum_{o \in O} \sum_{td \in TD} (FTD_{p,o,td,d}) < DP_{p,d} \quad \forall p \in P \text{ e } \forall d \in D \tag{5}$$

A restrição visa garantir que não seja transportada uma quantidade maior que a demanda de um produto para um determinado destino. Desta forma a quantidade transportada estritamente rodoviária ($FOD_{p,o,d}$) mais a quantidade transportada de um terminal de desembarque ao destino ($FTD_{p,o,td,d}$), não pode ser maior que a demanda do destino por produto ($DP_{p,d}$).

Oferta:

$$\sum_{d \in D} (FOD_{p,o,d}) + \sum_{te \in TE} (FOT_{p,o,te}) = OM_{p,o} \quad \forall p \in P \text{ e } \forall o \in O \quad (6)$$

A restrição tem o intuito de garantir que toda a carga mapeada seja transportada. Desta forma, todas as cargas originadas que são as cargas estritamente rodoviárias ($FOD_{p,o,d}$) mais as cargas intermodais transportadas por rodovias até os terminais de embarque ($FOT_{p,o,te}$) devem ser iguais a oferta de cada produto em cada local de origem $OM_{p,o}$.

Continuidade 1:

$$FOT_{p,o,te} = \sum_{td \in TD} (FTT_{p,o,te,td}) \quad \forall p \in P, \forall o \in O \text{ e } \forall te \in TE \quad (7)$$

Visa garantir que todo produto embarcado em um terminal seja transportado pela ferrovia. Portanto todos os fluxos da origem a um terminal de embarque ($FOT_{p,o,te}$) devem ser transportados via ferrovia do terminal de embarque aos terminais de desembarque ($FTT_{p,o,te,td}$).

Continuidade 2:

$$\sum_{te \in TE} (FTT_{p,o,te,td}) = \sum_{d \in D} (FTD_{p,o,td,d}) \quad \forall p \in P, \forall o \in O \text{ e } \forall td \in TD \quad (8)$$

A última restrição garante que todo produto transportado pela ferrovia também seja transportado do terminal de desembarque ao destino por meio rodoviário. Portanto os fluxos transportados de um terminal de origem a um terminal de desembarque ($FTT_{p,o,te,td}$) devem ser transportados dos terminais de embarque ao destino ($FTD_{p,o,td,d}$).

Capacidade dos terminais:

$$\sum_{o \in O} (FOT_{p,o,te}) < RE_{p,te} \quad \forall p \in P \text{ e } \forall te \in TE \quad (9)$$

A restrição de capacidade tem por objetivo garantir que um terminal não atraia uma quantidade de carga superior a sua capacidade para cada um dos produtos embarcados. Desta forma, o somatório da quantidade transportada de cada produto por todos os fluxos que são embarcados no terminal não pode ser maior que sua capacidade de embarque para cada produto.

3.2.1.3 Limitações do modelo:

Em todo modelo de fluxo de custo mínimo, a economia de escala é definida a priori (Arnold, 2004), ou seja, no momento de se definir o custo de transporte de determinado produto, já deve ser considerada sua economia de escala. Desta forma, o modelo se enquadra como um modelo de custo fixo, e não variável como nos modelos apresentados por O'Kelly (1998) e Horner (2001). Como para o presente estudo serão considerados apenas grandes fluxos de carga, esta limitação não impactará no resultado final do modelo.

4 IDENTIFICAÇÃO DA DEMANDA DE TRANSPORTE

No presente capítulo são expostos os resultados obtidos na etapa de identificação da demanda de transporte. Ele é dividido em três seções, a primeira demonstra como foram definidos os fluxos de transporte e as outras duas caracterizam estes fluxos.

4.1 Identificação dos fluxos a serem estudados

Como a presente pesquisa tem por objetivo avaliar os fluxos de exportação de açúcar e soja, foram utilizados os portos como centro gerador demanda e os municípios exportadores como centros de geração de oferta. Os dados de exportação do ano de 2014 agrupados por portos, em milhões de tonelada úteis, conforme exibidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Volume exportado por porto brasileiro em 2014, não considerando minério de ferro

Porto	Mt	%
Santos - SP	63,012	27%
Paranaguá - PR	25,975	11%
Vitória - ES	21,444	9%
Rio Grande - RS	17,459	8%
Rio de Janeiro (Sepetiba) - RJ	16,034	7%
Outros	232,136	38%

Fonte: MDIC (2015a), elaboração do autor

Conforme observado na Tabela 4, 27% do volume total de exportação brasileira, não considerando minério de ferro, é realizado via porto de Santos, valor este maior que duas vezes a exportação do porto de Paranaguá, segundo colocado. Por este motivo, escolheu-se o porto de Santos para o presente estudo. Importante explicitar que o modelo proposto permite avaliar quantos portos forem necessário, porém foi escolhido apenas um para facilitar a análise dos resultados.

Uma vez escolhido o porto de Santos como objeto do trabalho, foi feita uma pesquisa no Sistema AliceWeb a fim de estratificar a exportação do porto em relação aos produtos. O sistema agrupa os produtos por uma classificação denominada Sistema Harmonizado (SH). Esta classificação foi introduzida em 1985 com o objetivo de ser um sistema único mundial de designação e de codificação de mercadorias, podendo ser utilizado na elaboração das tarifas de direitos aduaneiros e de frete, das estatísticas do comércio de importação e de exportação, de produção e dos diferentes meios de transporte de mercadorias, entre outras aplicações (MDIC, 2015b).

Os dados de exportação por produtos são apresentados na Figura 3. Como já antecipado, foram escolhidos os dois principais produtos exportados pelo porto que são o açúcar e a soja. A exportação destes dois produtos representa 48% do volume exportado pelo porto de Santos, o que demonstra a sua relevância.

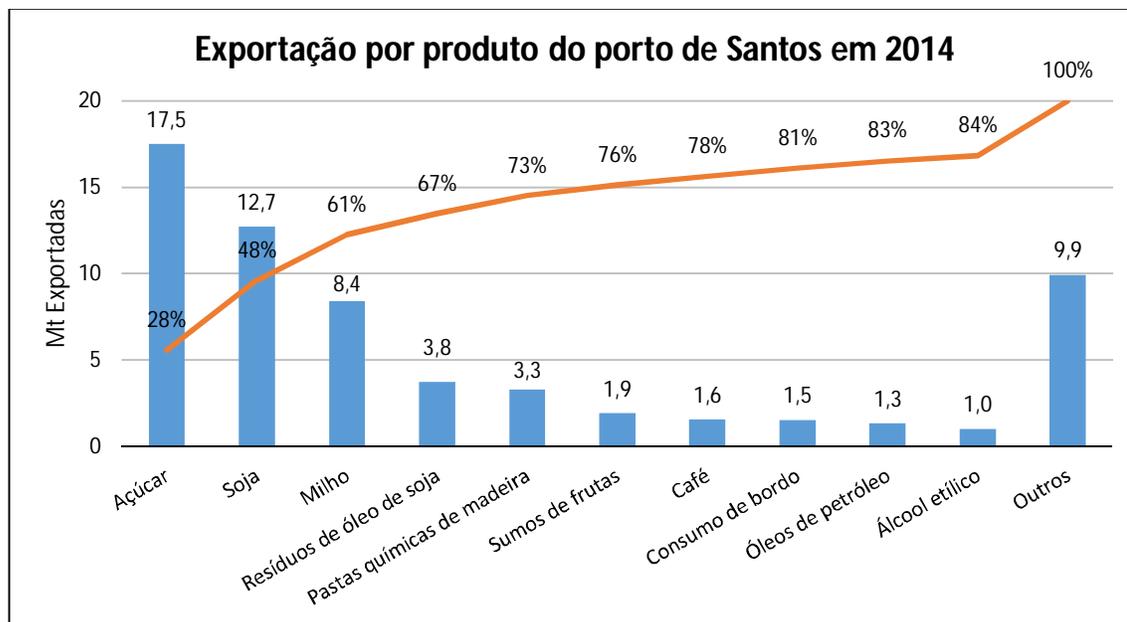


Figura 3 – Exportação pelo porto de Santos
Fonte: MDIC (2015a)

Com o intuito de facilitar a visualização do gráfico da Figura 3 os nomes dos produtos que se encontram no eixo x foram simplificados de acordo com a classificação do SH. Na Tabela 5 é listada a descrição completa de acordo com o sistema de classificação para cada produto exibido no gráfico.

Tabela 5 – Descrição dos produtos de acordo com SH

Produto	Descrição SH
Açúcar	Açúcares de cana ou de beterraba e sacarose quimicamente pura, no estado sólido
Soja	Soja, mesmo triturada
Milho	Milho
Resíduos de óleo de soja	Tortas e outros resíduos sólidos da extração do óleo de soja
Pastas químicas de madeira	Pastas químicas de madeira, à soda ou ao sulfato, exceto pastas para dissolução
Sumos de frutas	Sumos de frutas (incluídos os mostos de uvas) ou de produtos hortícolas, não fermentados, sem adição de álcool, com ou sem adição de açúcar ou de outros edulcorantes
Café	Café, mesmo torrado ou descafeinado; cascas e películas de café; sucedâneos do café contendo café em qualquer proporção
Consumo de bordo	Consumo de bordo (combustíveis e lubrificantes para embarcações e aeronaves)
Óleos de petróleo	Óleos de petróleo ou de minerais betuminosos, exceto óleos brutos; preparações não especificadas nem compreendidas noutras posições, contendo, em peso, 70 % ou mais de óleos de petróleo ou de minerais betuminosos, os quais devem constituir o seu elemento
Álcool etílico	Álcool etílico não desnaturado, com um teor alcoólico em volume igual ou superior a 80 % vol; álcool etílico e aguardentes, desnaturados, com qualquer teor alcoólico

4.2 O açúcar

Segundo Machado (2000), o cultivo de cana de açúcar originou-se no Oriente na Nova Guiné e chegou à Índia, à região do Golfo de Bengala, onde se tem os mais antigos registros sobre a sua existência. Em 1532, Martim Affonso de Souza trouxe oficialmente a primeira muda de cana ao Brasil e iniciou seu cultivo na Capitania de São Vicente. Anos depois, foi efetivamente no Nordeste do Brasil, principalmente nas Capitanias de Pernambuco e da Bahia, onde os engenhos de açúcar se multiplicaram. O açúcar foi o principal produto exportador brasileiro durante o Brasil Império de 1500 a 1822. Estima-se que a renda obtida pelo seu comércio tenha atingido quase duas vezes à do ouro e quase cinco vezes à de todos os outros produtos agrícolas juntos, tais como café, algodão, madeiras, etc.

No final do séc. XIX, o governo brasileiro estimulou a imigração de europeus com a intuito de suprir a mão de obra necessária às fazendas de café que se concentravam no interior paulista. Com o passar do tempo, esses imigrantes foram adquirindo glebas de terra e desenvolvendo sua

própria atividade agrícola. Grande parte deles, em sua maioria de origem italiana, optou pela produção de aguardente a partir da cana-de-açúcar, produto de fácil comércio e de boa rentabilidade. Assim, foram construídos inúmeros engenhos na região compreendida no quadrilátero formado entre Campinas, Itu, Moji-Guaçu e Piracicaba, e ao norte próximo de Ribeirão Preto.

Impulsionados pelo crescimento da economia paulista, os engenhos de aguardente foram rapidamente se transformando em usinas de açúcar, dando origem aos grupos produtores mais tradicionais do Estado na atualidade. Essa expansão da produção também ocorria no Nordeste, que era responsável por toda a exportação brasileira. Porém, após a II Guerra Mundial, as usinas paulistas multiplicaram por quase seis vezes sua produção e, no início da década de 50, ultrapassaram a produção do Nordeste.

Os adoçantes sintéticos foram introduzidos com amplas campanhas publicitárias no final da década de 70 para concorrer diretamente com o açúcar. Simultaneamente, nos Estados Unidos, principal mercado consumidor de açúcar, iniciou-se a produção de xaropes de frutose obtidos a partir do milho para uso industrial, substituindo o açúcar em alimentos e refrigerantes. No início da década de 80, o xarope de frutose ocupou mais de 50% do mercado que originalmente era do açúcar. Esses novos produtos juntamente com o pequeno aumento da demanda mundial, derrubaram o preço do açúcar a patamares poucas vezes igualado na história recente.

Atualmente as indústrias de cana-de-açúcar vem aumentando o leque de produtos gerados a partir da cana. A Figura 4 mostra o sistema agroindustrial desde os insumos agrícolas até o consumidor final. Neves (2009) separa a cadeia em três etapas: antes das fazendas, nas fazendas e depois das fazendas. Importante destacar que o presente estudo tem como escopo o estudo da exportação do açúcar que é um dos elos desta cadeia.

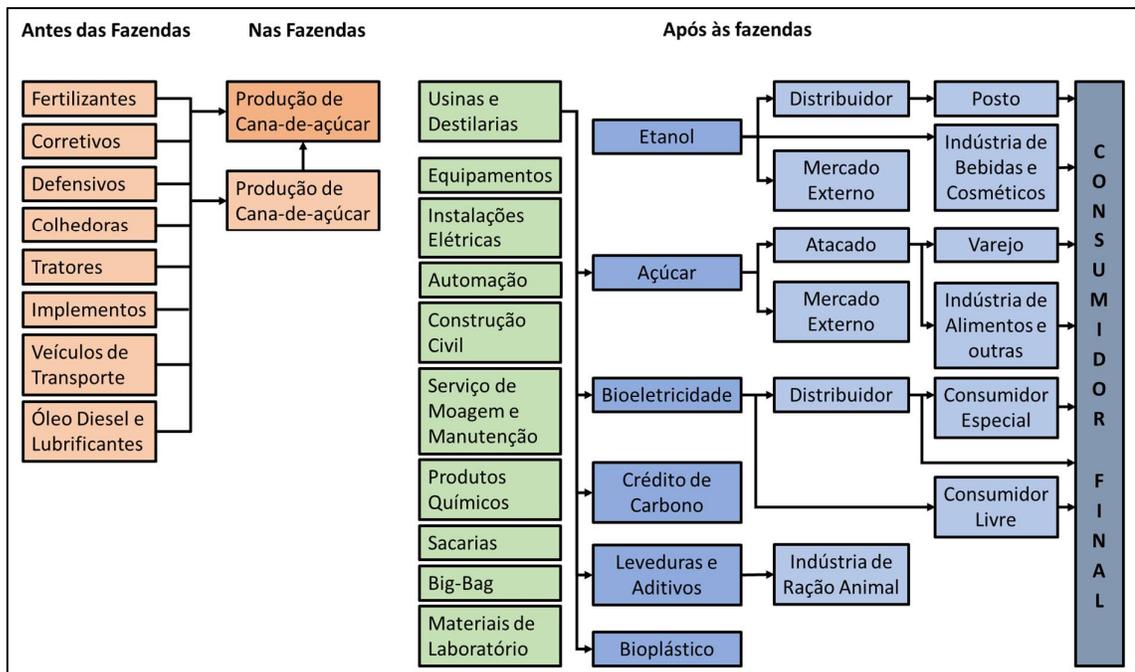


Figura 4 – Cadeia produtiva do setor sucroenergético

Fonte: Adaptado de Neves (2009)

4.2.1 Comércio internacional do açúcar

Segundo dados da USDA (2015b) o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, tendo produzido na safra 2013-2014 o equivalente à 37,8 milhões de toneladas (22% da produção mundial), seguido da Índia (26,6 mi de t), União Europeia (16,7 mi de t), China (14,0 mi de t) e Tailândia (10,0 mi de t). O Brasil também lidera com folga o ranking de exportações da commodity, tendo exportado na safra 2013/2014 o equivalente à 26,2 milhões de toneladas, três vezes mais que a Tailândia (7,5 mi de t) que ocupada a segunda posição conforme pode ser verificado na Figura 5.

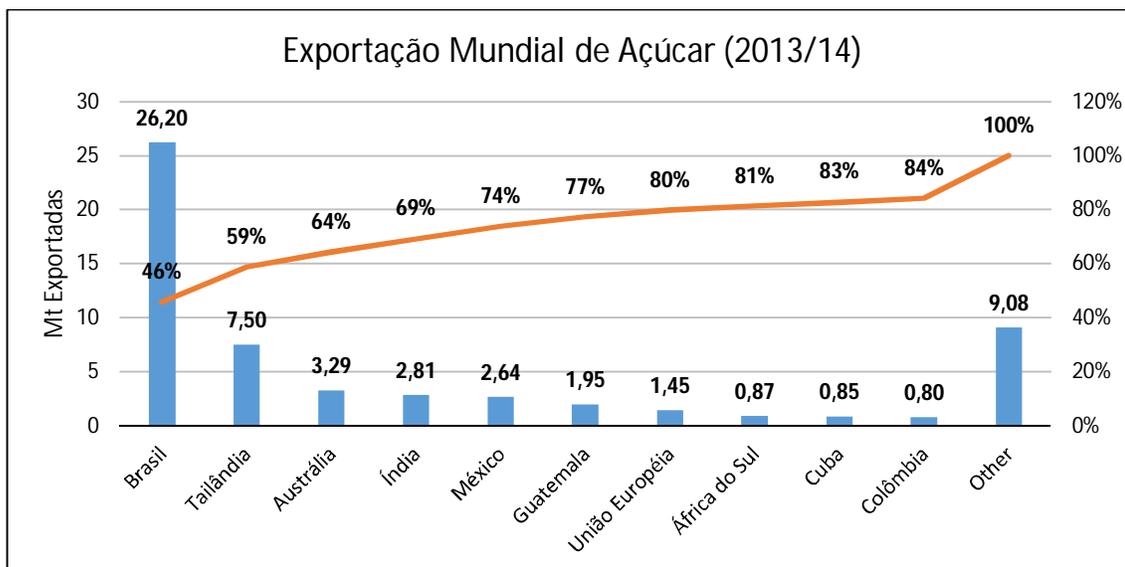


Figura 5 – Exportação mundial de açúcar (2013/14)
 Fonte: USDA (2015b)

A China ocupa a primeira posição no ranking mundial de importação de açúcar, importando 4,3 Mt da *commodity*, o que representa 8,4% do comércio internacional. Em segundo lugar, bem próximo da China, está a Indonésia importando 4,1 Mt (7,9%), em seguida vêm Estados Unidos (6,5%) e União Europeia (6,4%), conforme pode ser visualizado na Figura 6.

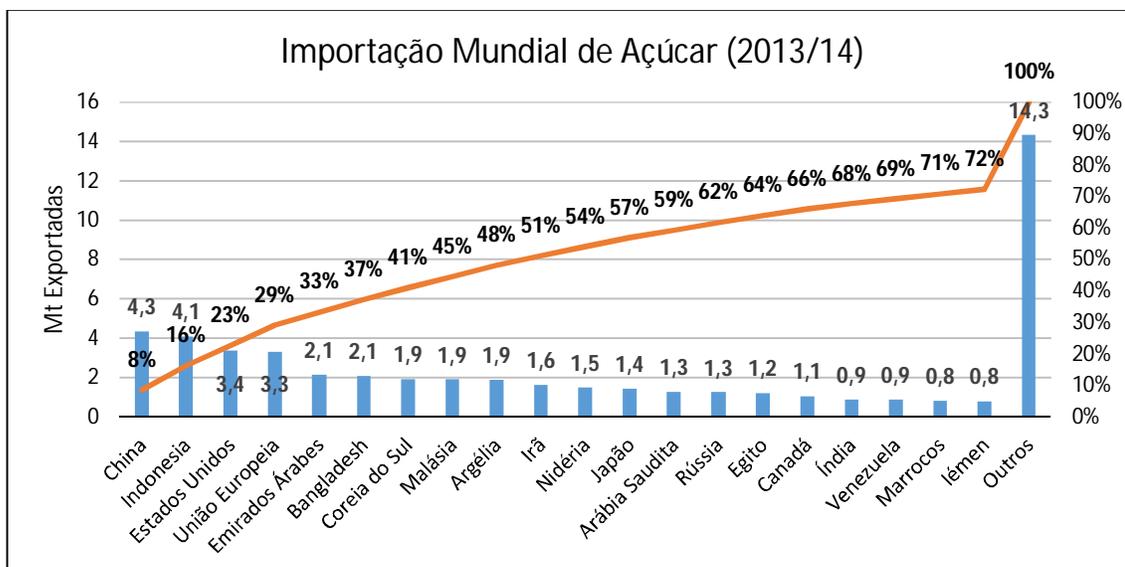


Figura 6 – Importação mundial de açúcar (2013/14)
 Fonte: USDA (2015b)

Para o presente estudo, conforme mencionado anteriormente, serão analisados os fluxos de transporte de açúcar exportados através do porto de Santos. Utilizando os dados do MDIC (2015a), foram identificados os principais municípios brasileiros exportadores de açúcar,

Figura 7. Foram selecionados para o pesquisa os municípios cuja soma de suas exportações de açúcar representam 14,03 Mt, equivalente a 80% da exportação do produto pelo porto.

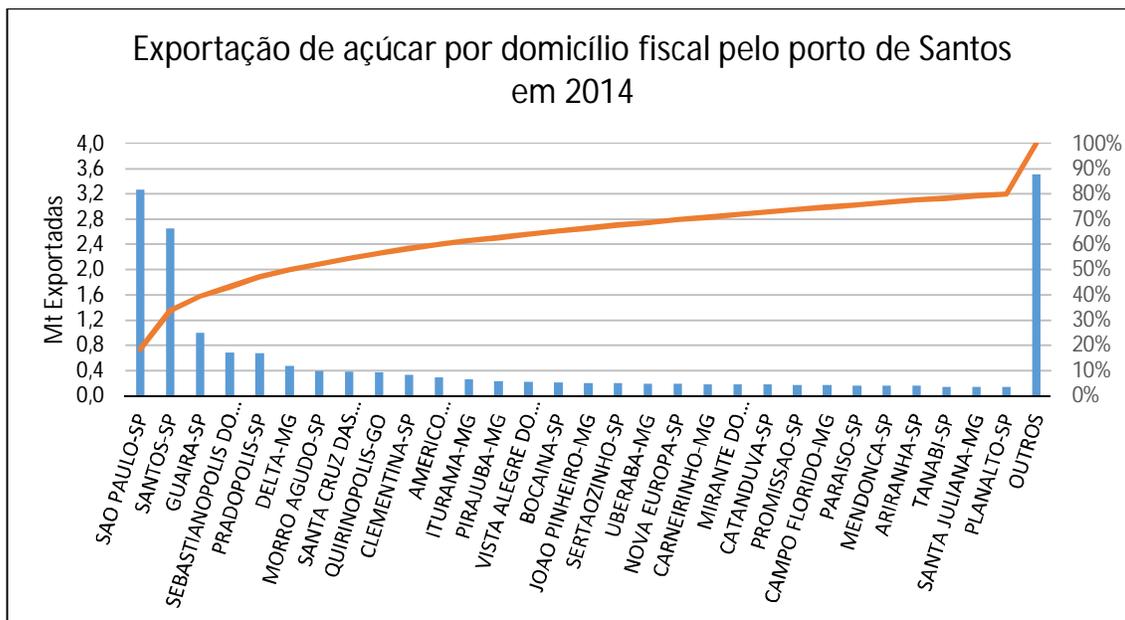


Figura 7 – Exportação de açúcar pelo porto de Santos (SP)

Fonte: MDIC (2015a)

Os dados de exportação por município do MDIC (2015) considera o domicílio fiscal da empresa exportadora e não o local de produção do produto. Desta forma, São Paulo e Santos, que aparecem respectivamente em primeiro e segundo lugares no ranking de exportadores de açúcar, não são necessariamente grandes produtores. No Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2015) é possível verificar que São Paulo produziu em 2013 apenas 10t de açúcar e Santos zero. Na Tabela 6 são exibidos os dez maiores produtores de cana-de-açúcar.

Tabela 6 – Dez municípios maiores produtores de cana-de-açúcar em 2013

Município	Mt
Morro Agudo - SP	7,89
Uberaba - MG	5,70
Guaira - SP	5,49
Rio Brillhante - MS	5,21
Barretos - SP	5,17
Quirinópolis - GO	5,14
Nova Alvorada do Sul - MS	4,73
Piracicaba - SP	4,22
Jataí - GO	4,20
Chapadão do Céu - GO	4,05

Fonte: IBGE (2015)

Para o presente estudo é necessário identificar os municípios produtores que exportam açúcar, e não os domicílios fiscais das exportadoras, pois serão avaliados os custos de transporte do local de produção, e não dos domicílios fiscais, ao porto. Desta forma, a exportação de São Paulo e Santos foi distribuída proporcionalmente entre os demais municípios.

Como forma de não desconsiderar a exportação dos municípios de menor representatividade, que somados correspondem a 20% do volume total de exportação, os seus valores foram distribuídos proporcionalmente entre os demais maiores. Assim, os valores de exportação de açúcar por município pelo porto de Santos considerados na pesquisa estão exibidos na Figura 8.

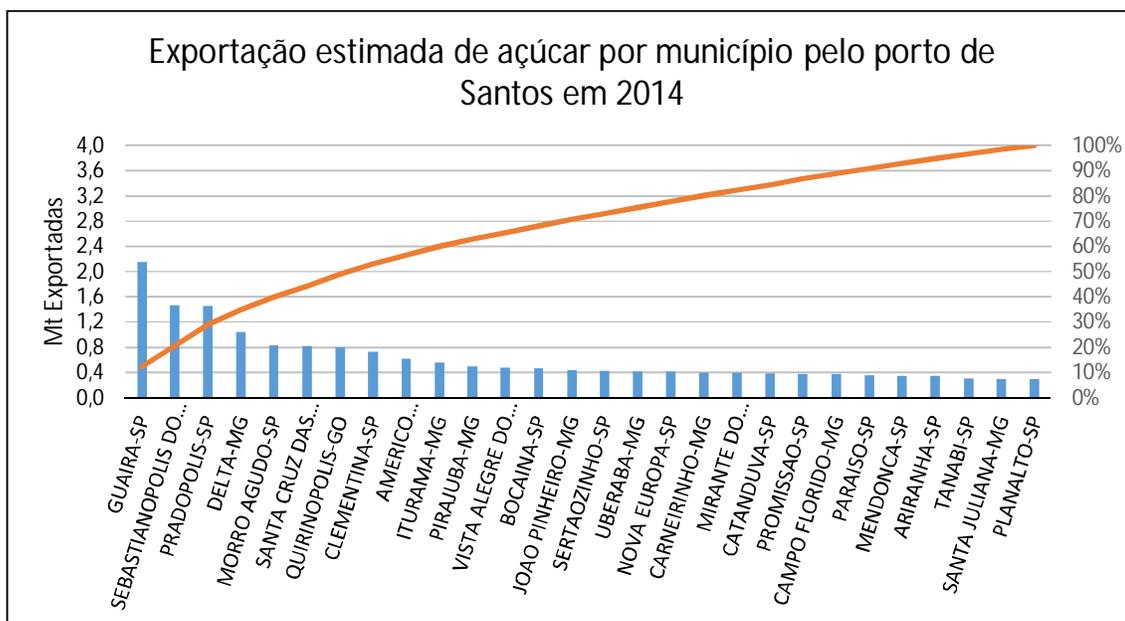


Figura 8 – Exportação estimada de açúcar por município pelo porto de Santos (SP)

4.3 A soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada hoje em dia é muito diferente de suas ancestrais que eram espécies de plantas rasteiras encontradas na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do Rio Amarelo na China. Sua evolução ocorreu através do cruzamento natural de duas espécies de soja selvagem que foram domesticadas e posteriormente melhoradas por cientistas chineses. Sua importância na alimentação da antiga civilização chinesa era tão grande que a soja, juntamente com o trigo, o arroz, o centeio e o milho, era considerada um grão sagrado, com direito a cerimoniais ritualísticos na época da semeadura e da colheita. (EMBRAPA, 2015)

A soja foi introduzida no Brasil por volta de 1882 pelo Professor Gustavo Dutra da Escola da Escola de Agronomia da Bahia, responsável pelos primeiros estudos de sua cultura no país. Cerca de dez anos depois, no Estado de São Paulo, o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) também iniciou estudos com a soja, porém, o interesse não era pelo grão, e sim, pela planta como uma espécie a ser utilizada como forrageira e na rotação de culturas. Os grãos eram destinados aos animais, uma vez que ainda não havia o seu emprego na indústria (CISOJA, 2015).

Segundo CISOJA (2015), após uma década de estudos, início do século XX, o IAC iniciou a distribuição de sementes para produtores. Relatos indicam que o Estado do Rio Grande do Sul começou a cultivar a soja, onde a cultura encontrou condições ideais para o seu desenvolvimento. Sua adaptação a região é creditada à similaridade do seu clima com do sul dos Estados Unidos, local de origem dos primeiros genótipos da soja brasileira.

Na década de 70 a soja se consolidou como a principal cultura do agronegócio brasileiro, devido não somente ao aumento da área cultivada, mas, também, ao expressivo incremento da produtividade graças às novas tecnologias desenvolvidas pela pesquisa brasileira. Neste período, mais de 80% da produção brasileira concentrava nos três estados da Região Sul do Brasil (EMBRAPA, 2015).

Nas décadas de 1980 e 1990 repetiu-se, na Região Centro-Oeste, o explosivo crescimento da produção ocorrido nas duas décadas anteriores na Região Sul. Segundo dados da Conab (2015), a região centro-oeste produziu apenas 4% de toda a soja brasileira na safra 1976/77, e dez anos depois o percentual já era de 34% e na última safra 2013/14 foi de 49%. Na safra de 2004/05 a Região teve sua participação máxima na produção de soja brasileira representando 55%. Esta evolução pode ser notada na Figura 9.

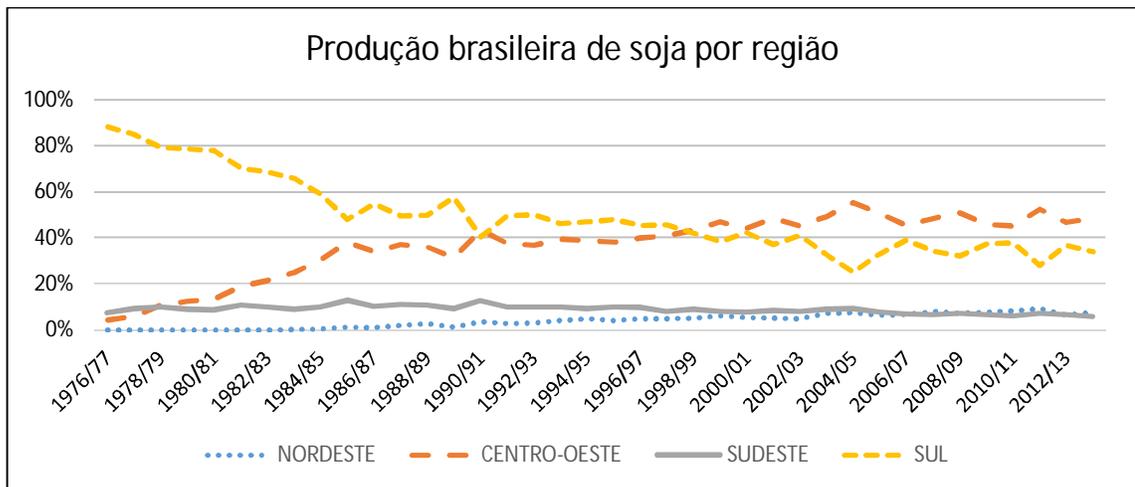


Figura 9 – Produção brasileira de soja por região

Fonte: Conab (2015), elaboração do autor

A soja é matéria prima em vários produtos alimentícios, cosméticos, farmacêuticos e como importante fonte de nutriente na composição da ração animal em especial na avicultura e suinocultura. Entretanto, embora nas últimas décadas a produção mundial tenha crescido significativamente, seu consumo ainda é baixo, existindo muito espaço para aumentos da produção. No Brasil, a soja é consumida quase que exclusivamente na forma de óleo e de farelo de soja, e indiretamente por meio de vários produtos da indústria alimentícia que a utilizam como um de seus ingredientes. (Dubke, 2006)

A Figura 10 ilustra uma típica cadeia produtiva da soja, com seus principais atores e fluxos de produtos. A indústria de insumos é responsável por fornecer aos agricultores sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, maquinário, entre outros. Os produtores abastecem com soja *in natura* o grupo denominado de originadores, formados por corretores, cooperativas e tradings. Dependendo do porte do produtor, ele pode vender diretamente a soja para uma esmagadora assim como fazem os originadores. Uma vez a soja processada, ela servirá de insumo para as indústrias de derivados de óleo, rações, alimentos, química, etc., que por sua vez serão distribuídos ao consumidor interno. Para o mercado externo, será destino a soja *in natura* ou em forma de farelo (processada por uma esmagadora) vendida normalmente por uma *trading*.

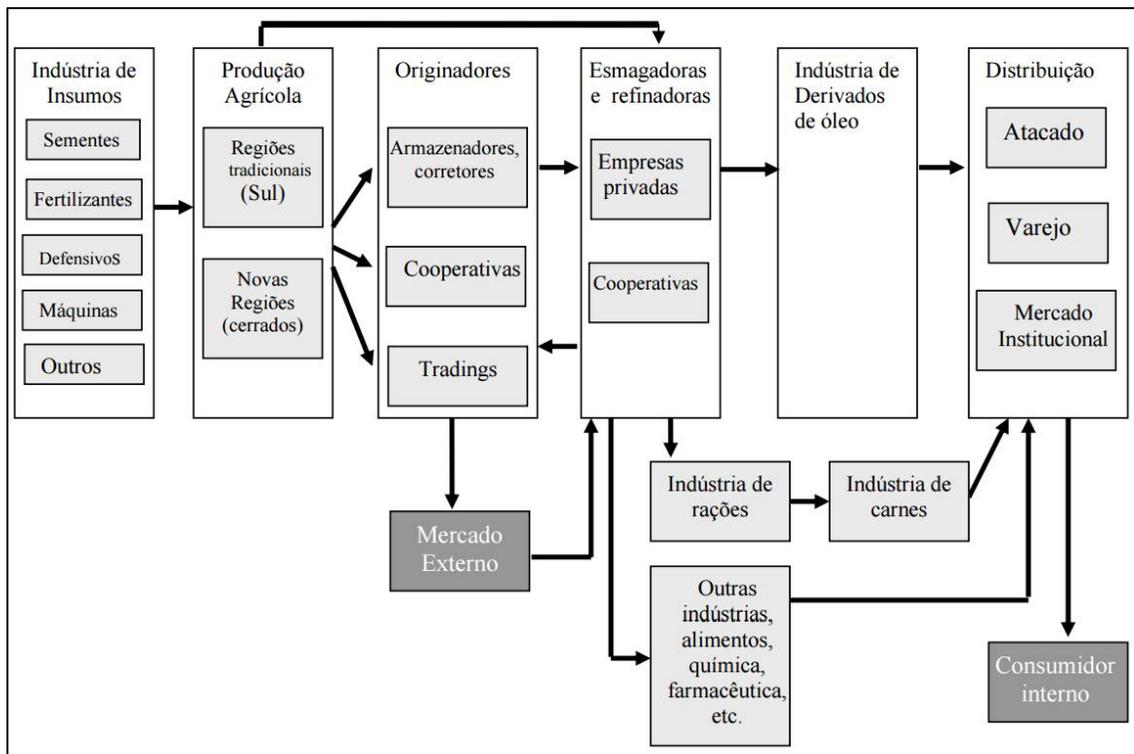


Figura 10 – Cadeia produtiva da Soja
 Fonte: Lazzarini e Nunes (2000)

Segundo Dalto (2003) o pico da safra de soja começa na segunda quinzena de março e vai até a segunda quinzena de abril. Uma vez colhida, a soja é transportada do produtor até indústria esmagadora ou para os armazéns. Esta etapa representa um custo mais elevado, devido as estradas rurais não serem pavimentadas, ocasionando deslocamentos mais lentos, períodos de interrupção por causa das chuvas, além de elevação dos custos de manutenção do caminhão. A segunda etapa caracteriza-se pelo transporte do grão (ou do farelo) para a indústria de processamento ou aos portos com destino ao mercado externo.

4.3.1 Comércio internacional da soja

Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2015), na safra de 2013/2014 o Brasil foi o maior exportador mundial de soja com 46,8 milhões de toneladas, seguido pelos Estados Unidos com 44,8 Mt, em terceiro lugar a Argentina (7,8 Mt) e quarto os demais países da América do Sul somados (7,9 Mt). De acordo com as projeções feitas pelo Departamento, o Brasil deve se consolidar como o principal exportador de soja mundial aumentando gradativamente sua participação no comércio mundial, saindo os atuais 42% de participação na safra 2013/14 para 46% na safra 2024/2025, enquanto os Estados Unidos deverão sair dos atuais 40% para 33%, vide Figura 11.

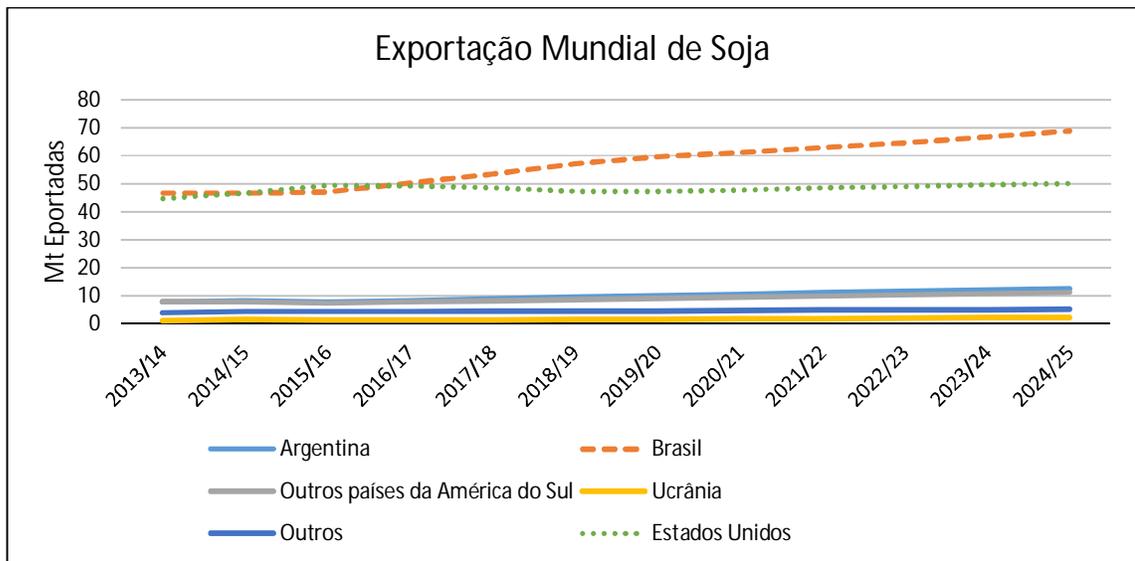


Figura 11 – Exportação mundial de soja
 Fonte: USDA (2015), elaboração do autor

Ainda segundo o USDA (2015), quanto à importação de soja, a China deverá sair dos atuais (safra 2013/14) 70,4 Mt o que representa 62% do comércio mundial para 107,7 Mt na safra 2024/25, aumentando sua participação para 72%. A segunda posição do ranking pertence à União Europeia que importou 13,0 Mt em 2013/14 e possui um projeção de importar 11,0 Mt em 2024/2025.

Quanto à exportação de soja via porto de Santos, assim como feito para o açúcar, foram identificados os principais municípios brasileiros exportadores de soja (Figura 12) e selecionados para o pesquisa os municípios cuja soma de suas exportações de soja representam 10,17 Mt, equivalente a 80% da exportação do produto pelo porto.

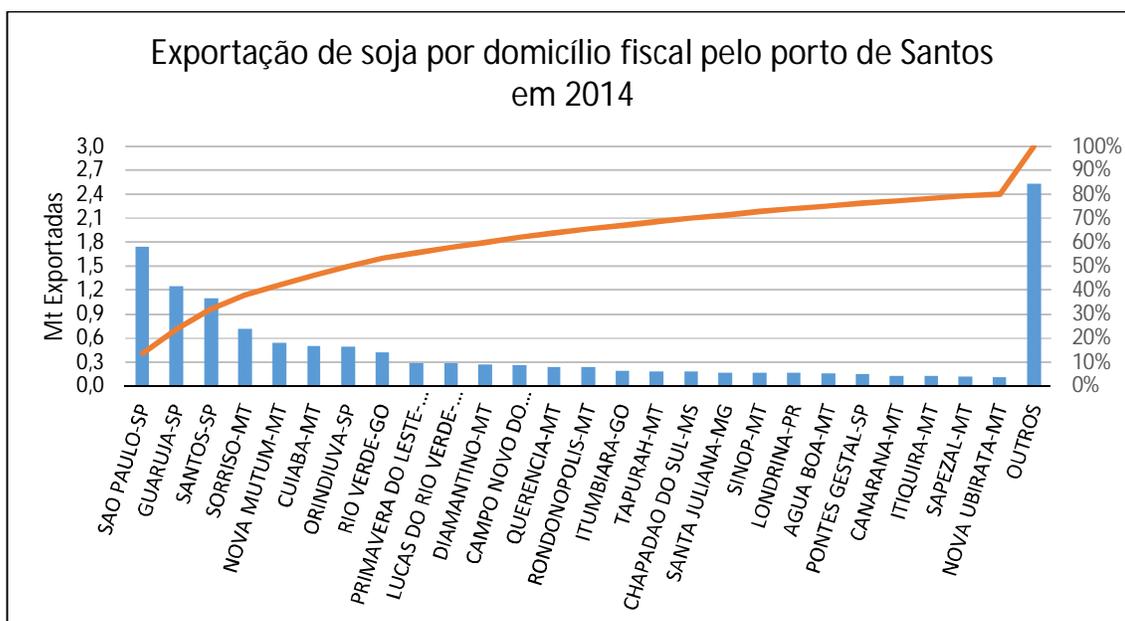


Figura 12 – Exportação de soja pelo porto de Santos em 2014
 Fonte: MDIC (2015a)

De forma semelhante ao realizado para as exportações de açúcar, foi consultado o SIDRA com o objetivo de identificar os domicílios fiscais não produtores de soja. Foi identificado que os municípios de São Paulo (SP), Guarujá (SP), Santos (SP) e Cuiabá (MT) não produziram sequer uma tonelada de soja. E não foi encontrado no sistema o município de Orindiuva (SP), sendo, desta forma considerado que o município também não é produtor de soja. Os municípios maiores produtores de soja estão lista na Tabela 7.

Tabela 7 – Dez municípios maiores produtores de soja em 2013

Município	Mt
Sorriso – MT	19,27
Nova Mutum – MT	11,57
Campo Novo do Parecis - MT	11,26
Sapezal – MT	10,88
Nova Ubiratã – MT	9,28
Jataí – GO	8,74
Rio Verde – GO	8,70
Formosa do Rio Preto - BA	8,59
Diamantino – MT	8,50
Querência – MT	8,40

Fonte: IBGE (2015)

Assim como feito com o açúcar, a exportação dos municípios de menor representatividade, que somados correspondem a 20% do volume total de exportação, foram distribuídos

proporcionalmente entre os demais maiores. Assim, os valores de exportação de soja por município pelo porto de Santos considerados na pesquisa estão exibidos na Figura 13.

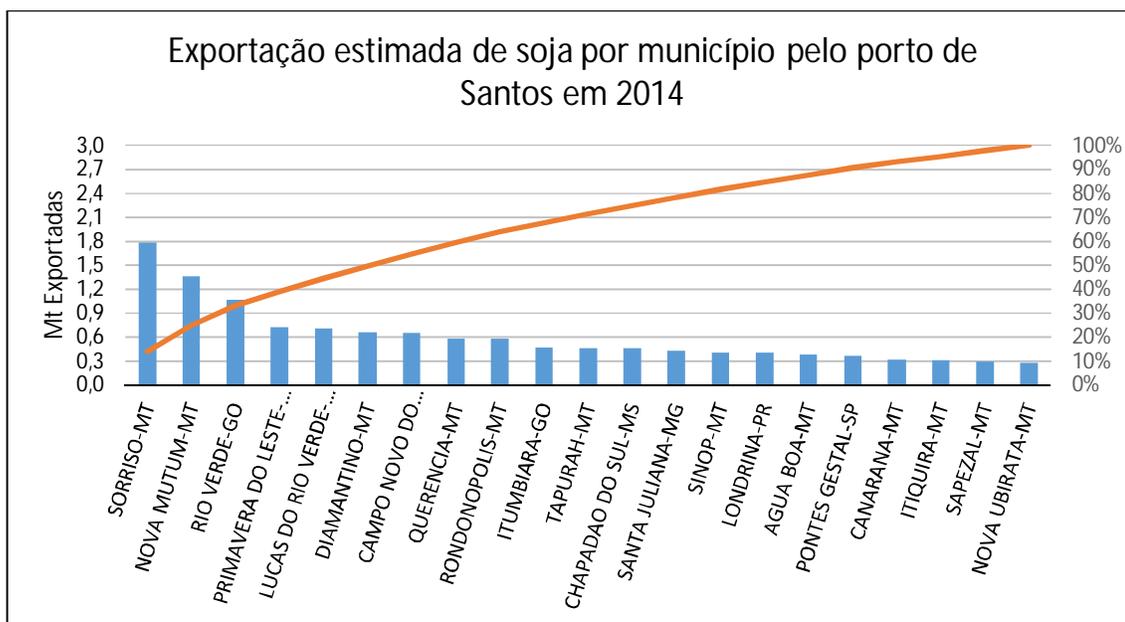


Figura 13 – Exportação estimada de soja por município pelo porto de Santos em 2014

5 CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA DO SISTEMA DE TRANSPORTE

O objetivo deste capítulo é caracterizar a oferta do sistema de transporte para a exportação de açúcar e soja no vetor logístico Centro-Sudeste. Desta forma, são identificadas as malhas rodoviárias e ferroviárias que conectam os municípios exportadores ao porto de Santos. Também é apresentado um resumo histórico da evolução dos sistemas ferroviários e rodoviários. O principal insumo deste capítulo será mapear os custos de transporte destes sistemas que serão utilizados na modelagem matemática.

5.1 Vetores Logísticos

O Ministério dos Transportes (2012) dividiu o espaço territorial brasileiro em Vetores Logísticos, que são regiões que possuem uma dinâmica socioeconômica mais homogênea sob o ponto de vista de produções, deslocamentos a mercados e exportações, dentre outros fatores. O objetivo foi construir agendas de desenvolvimento para estes vetores que tenha o Transporte como papel preponderante na estruturação física do território ao redor. O vetores são: Amazônico, Centro-Norte, Nordeste Setentrional, Nordeste Meridional, Leste, Centro-Sudeste e Sul; ilustrados na Figura 14.



Figura 14 – Vetores logísticos brasileiros
Fonte: Ministério do Transporte (2012)

Na definição dos Vetores Logísticos proposta pelo Ministério dos Transportes (2012), as microrregiões homogêneas foram agrupadas em função das similaridades socioeconômicas, perspectivas de integração e inter-relacionamento, funções de transporte, identificadas a partir

da análise de isocustos em relação aos principais portos concentradores de carga do País, e impedâncias ambientais (Ministério dos transportes, 2012).

5.2 Sistema Ferroviário

5.2.1 Histórico Brasileiro

Em 1835, o Governo Imperial concedeu o primeiro incentivo ao setor ferroviário promulgando a lei que daria concessão por 40 anos às empresas que se propusessem a construir estradas de ferro interligando o Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia. A lei não despertou o interesse desejado, pois as perspectivas de lucro não foram consideradas atraentes. Então, em 1852, foi promulgada a lei que oferecia isenções e garantia de juros sobre o capital investido às empresas nacionais ou estrangeiras para a construção e exploração de estradas de ferro em qualquer parte do país. (DNIT, 2015)

Desta forma, Irineu Evangelista de Souza, (1813-1889), mais tarde Barão de Mauá, recebeu em 1852 a concessão para a construção e exploração de uma linha férrea interligando o Porto de Estrela, situado ao fundo da Baía da Guanabara no Rio de Janeiro, e a localidade de Raiz da Serra, em direção à cidade de Petrópolis (RJ). A Estrada de Ferro Mauá introduziu a primeira operação intermodal brasileira, integrando os modos aquaviário e ferroviário. A empresa que operava este serviço, recebeu o nome de “Imperial Companhia de Navegação a Vapor e Estrada de Ferro Petrópolis”. (DNIT, 2015)

Segundo Coli (2004) as exportações foram o principal fator para a expansão das ferrovias brasileiras. Gradativamente, foram sendo construídas ferrovias com o objetivo de escoar para os portos o carvão de pedra das minas, o látex de borracha, a produção canavieira, o café do Vale do Paraíba, enfim, a produção agrícola e os minerais extraídos. Chambouleyron (1995, apud Coeli 2004) aponta que esta característica da implantação das ferrovias brasileiras foi determinante para a definição dos seus traçados que inicialmente apresentavam apenas o sentido perpendicular ao litoral. Desta forma, as ferrovias não se comunicavam, pois não havia a preocupação com a integração dos mercados internos, já que “as regiões eram relativamente autônomas no que dia respeito às mercadorias produzidas”.

Segundo Campos (2010) a década de 1950 é considerada um ponto de inflexão na história das ferrovias brasileiras. Neste período, com o intensificação do processo de industrialização e de urbanização houve um aumento significativo da movimentação de cargas no país, que foi atendido pelos investimentos realizados na rede de setor rodoviário, fenômeno que ficou

conhecido como rodoviarização. Uma vez relegado a segundo plano, o setor ferroviário enfrentou diversas falências de empresas não mais lucrativas, surgindo a necessidade da estatização de várias companhias ferroviárias e da centralização do comando dessas ferrovias neoestatais em uma única empresa.

Desta forma, foi criada em 1957 a Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA), unificando dezoito ferrovias e a Ferrovia Paulista S/A (Fepasa) a qual foram incorporadas as cinco ferrovias do Estado de São Paulo em 1971 (DNIT, 2015). Ambas as empresas estatais tinham como objetivo eliminar trechos deficitários, e passaram a forçar no transporte de carga em detrimento do transporte de passageiros.

Devido à crise do petróleo na década de 1970 e as sucessivas crises econômicas enfrentadas pelo Brasil na década seguinte, os investimentos feitos à RFFSA e a FEPASA reduziram substancialmente. Houve a degradação da infra e superestrutura da via e postergação da manutenção de material rodante. Assim, de forma contrária ao percorrido na metade do século XX, houve a privatização das ferrovias estatais, através da inclusão da RFFSA no Programa Nacional de Desestatização (PND), por meio do Decreto no 473/1992 e da Fepasa pelo Decreto 2.502/1998. (DNIT, 2015).

Desta forma, ao longo de 1996 a 1998 as malhas regionais da RFFSA foram leiloadas para a iniciativa privada conforme apresentado na Tabela 8 .

Tabela 8 – Desestatização da RFFSA

Malhas Regionais	Data do Leilão	Concessionárias	Início da Operação	Extensão (Km)
Oeste	05/03/1996	Ferrovia Novoeste S.A.	01/07/1996	1.621
Centro-Leste	14/06/1996	Ferrovia Centro-Atlântica S.A.	01/09/1996	7.080
Sudeste	20/09/1996	MRS Logística S.A.	01/12/1996	1.674
Tereza Cristina	22/11/1996	Ferrovia Tereza Cristina S.A.	01/02/1997	164
Nordeste	18/07/1997	Cia. Ferroviária do Nordeste	01/01/1998	4.534
Sul	13/12/1998	Ferrovia Sul-Atlântico S.A. – atualmente – ALL-América Latina Logística S/A	01/03/1997	6.586
Paulista	10/11/1998	Ferrovias Bandeirantes S.A.	01/01/1999	4.236
Total				25.895

Fonte: DNIT (2015)

Segundo Coeli (2004), o processo de privatização começou a reverter o quadro de degradação das ferrovias brasileiras. O Governo Federal, que antes das privatizações tinha prejuízo de cerca R\$ 1 bilhão a cada ano, passou a arrecadar 220 milhões por ano com impostos entre 1997 e 2002. Além disso, houve diminuição nos acidentes e aumento do número de empregos.

Vencovsky (2006) propõe uma periodização da ferrovia em três momentos distintos: criação e expansão, estatização e readequação, e desestatização e recuperação (para o transporte de carga) conforme apresentado na Tabela 9 .

Tabela 9 – Periodização das ferrovias no Brasil

Características \ Momento	Criação e Expansão	Estatização e Readequação	Desestatização e Recuperação
Período Aproximado	1835-1957	1957-1996	1996-atual
Plano nacional do governo brasileiro relativo aos transportes	Ocupação	Modernização do território, "era desenvolvimentista", segurança nacional	Inserção internacional, "globalização", ocupação dos cerrados
Característica do sistema ferroviário	Desenvolvimento	Readequação	Reestruturação
Extensão da linha (Km)	30 mil	30 mil	29 mil
Prioridade econômica do governo	Exportação	Integração do território/exportação	Exportação
Controle das ferrovias	Privado	Estatal	Privado
Investimentos em novas linhas	Privado	Estatal	Estatal/Privado
Investimentos na operação	Privado	Estatal	Privado
Características dos principais fluxos	Vários produtos e passageiros	Commodities e passageiros	Commodities e containers
Principais produtos	Café	Minério	Minério e soja
Prioridade dos investimentos em transporte	ferrovias	rodovias	ferrovias e rodovias
Objetivos dos investimentos	Construção de novas linhas	Saneamento das empresas	Melhoria da eficiência operacional
Relação entre expansão agrícola e ferrovias	A agricultura segue a expansão das linhas	-	As ferrovias seguem a expansão da agricultura

Fonte: VENCOVSKY (2006)

5.2.2 Oferta Atual

As concessionárias cujos trechos conectam os municípios exportadores de açúcar e soja ao porto de Santos são: a Ferrovia Centro Atlântica, a ALL Malha Paulista e a ALL Malha Norte. Nos tópicos a seguir, serão caracterizadas cada uma dessas concessionárias.

5.2.2.1 FCA – Ferrovia Centro Atlântica

A Ferrovia Centro Atlântica obteve a concessão da Malha Centro-Leste da RFFSA em leilão realizado em junho de 1996, em agosto do mesmo ano foi efetivada a outorga da concessão por Decreto Presidencial e em 1º de setembro foi iniciada a operação da ferrovia, Tabela 8. A malha concessada foi de 7.080 km e foi originada da fusão de três superintendências da RFFSA:

- SR2, com sede em Belo Horizonte, originária da Viação Férrea Centro-Oeste e parte da Estrada de Ferro Central do Brasil;
- SR8, com sede em Campos e originária da antiga Estrada de Ferro Leopoldina;
- SR7, com sede em Salvador e originária da antiga Viação Férrea Federal Leste Brasileiro.

Em 08 de julho de 2005, a Resolução da ANTT nº 1.009 foi publicada no Diário Oficial da União concedendo à FCA mais 999 km de concessão referentes ao trecho ferroviário entre Araguari (MG) e Boa Vista Nova (SP). (ANTT, 2015)

Originalmente a FCA foi consorciada pelos grupos Mineração Tacumã Ltda. (empresa controlada pela empresa Vale), Ralph Partners, Railtex International Holdings Inc, Interférrea S.A. - Serviços Ferroviários e Intermodais, Judori - Administração, Empreendimento e Participações S.A., Companhia Siderurgia Nacional (CSN), Gruçai Participações S.A., Tupinambarana S.A. e Varbra S.A., muitos dos quais vindos de grandes empresas nacionais e participação estrangeira. Cada um deles possuía 12,5% de participação e a concessão foi fixada em cerca de R\$316 milhões. (ANTF, 2015 e FCA, 2015)

Logo após o início da concessão, entre 1997 e 2003, foram investidos em média US\$ 46 milhões ao ano em uma tentativa de recuperar as condições operacionais dos ativos da empresa que sofreram devido a acentuada redução de investimento nos anos que antecederam o leilão, de US\$ 83 milhões de investimento médio anual entre 1989-1993 para US\$ 5 milhões por ano entre 1994-1996. (FCA, 2015)

Em setembro de 2003, autorizada pela ANTT, a Vale assumiu o controle acionário da FCA, com 99,9% de ações, intensificando o processo de recuperação da empresa. Entre 2004 e 2006, a Vale destinou cerca de US\$ 488 milhões à FCA, possibilitando a modernização de seus ativos, com resultados imediatos em produtividade e segurança.

A FCA passou a desenvolver uma logística exclusivamente para a operação ferroviária de cargas focada principalmente em granéis como a soja, derivados de petróleo e álcool combustível. E no ano de 2007, pela primeira vez, a FCA fechou um ano com lucro líquido, no de R\$ 23 milhões. O resultado repetiu-se em 2008 quase três vezes melhor, R\$ 57 milhões. (FCA, 2015).

com a capacidade de 8.750 TU/dia. As empresas Cargil e Louis Dreyfus em Ituverava, e Copersucar e Man em Mogi-Guaçu operam em um terminal único. Desta forma, somando toda a capacidade dos terminais, a FCA consegue embarcar 31.063 de toneladas de açúcar por dia, o equivalente a 11,3 Mt ao ano, ou seja, uma capacidade de embarcar 66% da exportação de açúcar pelo porto de Santos.

Tabela 10 – Terminais de açúcar da FCA

Município	Pátio	Terminal	TU/dia
Araguari – MG	Brejo Alegre	Bunge	2.625
Guará – SP	Guará	Term. De Guará – Cargill	8.750
Guará – SP	Guará	Term. De Guará – Louis Dreyfus	
Guará – SP	Guará	Term. De Guará – Agrovia	
Guará – SP	Guará	Terminal de Guará – Bunge	
Ituverava – SP	Ituverava	JRB – Cargil	9.375
Ituverava – SP	Ituverava	JRB – Louis Dreyfus	
Mogi-Guaçu – SP	Mato Seco	Matosul – Copersucar	3.750
Mogi-Guaçu – SP	Mato Seco	Matosul – Man	
Ribeirão Preto – SP	Ribeirão Preto	Copersucar	5.000
São Joaquim da Barra – MG	São Joaquim da Barra	Ceagesp – Louis Dreyfus	1.563

Fonte: ANTT (2015a)

Em relação ao embarque de soja, a FCA utiliza de quinze terminais, todos eles instalados no Estado de Minas Gerais, com destaque para o Terminal Intermodal de Araguari (TIA) que possui uma capacidade diária de embarque de 23.760 toneladas de soja e 17.040 toneladas de farelo de soja. Somando toda a capacidade dos terminais, a FCA consegue embarcar 49.178 toneladas de soja e 27.190 toneladas de farelo de soja, Tabela 11.

Devido à base de dados de exportação extraída a partir do Sistema Aliceweb não fazer distinção entre a soja e o farelo de soja, ambos produtos foram considerados apenas como soja. Os terminais de Santa Luzia e Pirapora não foram selecionados para o estudo visto que os fluxos originados pelos mesmos não são destinados ao porto de Santos (ANTT, 2015a).

Tabela 11 – Terminais de soja da FCA

Município	Pátio	Terminal	TU/dia
Araguari – MG	Araguari	Casemg	2.310
Araguari – MG	Brejo Alegre	ADM	3.250
Araguari – MG	Brejo Alegre	Terminal Intermodal de Araguari (TIA)	23.760
Santa Luzia – MG	Carreira Comprida	Multigrain	2.970
Pirapora – MG	Pirapora	Terminal Intermodal de Pirapora (TIP)	5.700
Uberlândia – MG	Uberlândia	Cargil	1.130

Uberlândia – MG	Uberlândia	Casemg	3.390
Uberlândia – MG	Uberlândia	Uberzem	3.390
Anápolis – GO*	General Curado	Granol	2.700
Araguari – MG*	Araguari	Casemg	1.680
Araguari – MG*	Brejo Alegre	ADM	3.640
Araguari – MG*	Brejo Alegre	Selecta	2.130
Araguari – MG*	Brejo Alegre	Terminal Intermodal de Araguari (TIA)	17.040
Uberlândia – MG*	Uberlândia	Casemg	1.413
Uberlândia – MG*	Uberlândia	Uberzem	1.865

Fonte: ANTT (2015a)

*Farelo de soja.

5.2.2.2 ALL – América Latina Logística

A América Latina Logística é a maior empresa independente de logística da América do Sul, e opera nos segmentos de commodities agrícolas, produtos industriais e serviços rodoviários, atuando nos segmentos: transporte ferroviário, rodoviário e intermodal em rotas domésticas e internacionais, projetos logísticos customizados, gestão de estoque, armazéns e centros de distribuição, operação em terminais, movimentação de cargas porta a porta e serviços de frota dedicada. (KÜSTER, 2015)

Desde sua criação em 1997, a ALL apresentou uma trajetória de crescimento expressivo marcada por aquisições, fusões e ações de diversificação. Dentre os principais acontecimentos relacionados à empresa podemos destacar os seguintes (ALL, 2015; KÜSTER, 2015):

- Criação da empresa em 1997, como Ferrovia Sul Atlântico, após o processo de desestatização do setor, operando a Malha Sul (PR, SC, RS) da antiga RFFSA.
- No ano seguinte em acordo com a Ferrobán, passa a operar a parcela sul da Malha Paulista.
- Em 1999, passa adotar o nome de América Latina Logística, e passa a operar as ferrovias argentinas Ferrocarril Mesopotámico, General Urquiza e Ferrocarril Buenos Aires al Pacifico General San Martin, estendendo sua rede até Mendoza, próxima do porto chileno de Valparaíso, no Oceano Pacífico.

- Em 2001, arrenda os ativos da Delara, uma das maiores empresas de logística rodoviária, assumindo as operações e contratos da Delara no Brasil, Chile, Argentina e Uruguai.
- Em 2006 adquire a Brasil Ferrovias e a Novoeste Brasil, que operavam as malhas do Centro-Oeste e do estado de São Paulo, e desta forma, amplia sua atuação na principal região industrial do país e agrega à sua malha um dos principais corredores de exportação de commodities agrícolas via porto de Santos.
- Em 2009, assina contrato com a Rumo Logística para duplicação do trecho Irapitinga-Santos para o transporte de açúcar e aumento de capacidade da malha. Também inicia as obras de expansão da malha da ferroviária a partir de Alto Araguaia em direção à Rondonópolis, juntamente com construção de um grande terminal de transbordo.
- Em dezembro de 2010, cria a Brado Logística, empresa coligada do grupo especializada no serviço de logística intermodal de contêineres.
- Em julho de 2011, cria a Ritmo Logística, empresa coligada do grupo especializada no transporte rodoviário de cargas.
- Em dezembro de 2011, cria a Vetria Mineração, empresa com o objetivo de interligar a exploração de minério de ferro com o transporte ferroviário e operação portuária.
- Em junho de 2013, o governo argentino anuncia a estatização das duas malhas de concessão da ALL no país.
- Em 2014, foi descontinuada a empresa Vetria.

Desta forma, a ALL opera atualmente em quatro malhas no Brasil: Malha Norte, Malha Oeste, Malha Paulista e Malha Sul. Destas, apenas a Malha Norte e a Malha Paulista possuem fluxos para o porto de Santos (ANTT, 2015a).

ALLMP - América Latina Logística Malha Paulista

A FERROBAN (Ferrovias Bandeirantes S.A.) obteve a concessão da Malha Paulista, pertencente à Rede Ferroviária Federal S.A., no leilão realizado em 10 de Novembro de 1998, e iniciou a operação dos serviços públicos de transporte ferroviário de cargas em 1º de Janeiro

de 1999. Em 4 de março de 2002, a FERROBAN, juntamente com a Ferronorte e a Novoeste, foi integrada à empresa Brasil Ferrovias S. A. (ANTT, 2015)

Em 16 de junho de 2006, as Assembleias Gerais Extraordinárias da ALL, da Brasil Ferrovias e da Novoeste aprovaram a Incorporação de Ações na qual a Brasil Ferrovias e a Novoeste tornaram-se subsidiárias integrais da ALL. Desta forma, o controle acionário de Ferrobán, Ferronorte e Ferrovia Novoeste passou a ser detido, indiretamente, pela ALL. (ALL, 2006)

Por fim, em 9 de setembro de 2008 foi aprovada a alteração do Estatuto Social da FERROBAN que passa a ser ALL – América Latina Logística Malha Paulista S.A.

A América Latina Logística Malha Paulista (ALLMP) possui 1.989 km, sendo 243 km de bitola métrica e 1.463 km de bitola larga (1,60 m). Sua malha está distribuída no Estado de São Paulo. Transporta os seguintes produtos: produtos siderúrgicos, açúcar, contêiner, soja, milho, adubos e fertilizantes, bauxita, sal, celulose, álcool, cimento, diesel, gasolina. (ANTT, 2015c)



Figura 16 – Mapa da ALLMP

Fonte: ANTT (2015a)

A ALLMP utiliza oito terminais para embarque de açúcar, todos eles localizados no Estado de São Paulo. O destaque é o terminal da Rumo no município de Pradópolis (SP) com capacidade diária de 12.000 toneladas diárias de açúcar. Levando em consideração todos os seus terminais, a ALLMP tem capacidade de embarcar 53.832 toneladas de açúcar diário, equivalente a 19,6 Mt ano ano, ou 114% da capacidade de exportação de Santos, vide Tabela 12.

Tabela 12 – Terminais de açúcar da ferrovias ALLMP

Município	Pátio	Terminal	TU/dia
Jaú – SP	Airosa Galvão	Ayrosa Galvão	3.432
Araraquara – SP	Araraquara	Ceagesp	1.600
Fernandópolis – SP	Fernandópolis	Coruripe	7.680
Itirapina – SP	Itirapina	Rumo	12.000
Pradópolis – SP	Pradópolis	Rumo	7.680
São José do Rio Preto - SP	Rio Preto Paulista	Cooperçucar	6.720
Santa Adélia - SP	Santa Adélia	Agorvia	6.720
Votuporanga - SP	Votuporanga	Noble Brasil	8.000

Fonte: ANTT (2015a)

ALLMN - América Latina Logística Malha Norte

A FERRONORTE S.A. (Ferrovias Norte Brasil) obteve em 12 de Maio de 1989 a concessão para estabelecer um sistema de transporte ferroviário de carga, abrangendo a construção, operação, exploração e conservação da ferrovia. Em 6 de agosto de 2008, foi aprovado a alteração do Estatuto Social da Ferronorte que passou a ser ALL – América Latina Logística Malha Norte S.A. (ANTT, 2015)

A América Latina Logística Malha Norte (ALLMN) opera em 752 km de bitola larga (1,60 m) do Marco Inicial, na divisa entre São Paulo e Mato Grosso, até Rondonópolis (MT), Figura 17. Sua malha está distribuída nos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso, e transporta os seguintes produtos: soja, farelo de soja, milho, adubos, fertilizantes, diesel, gasolina, contêiner, diesel, álcool e celulose. (ANTT, 2015a).

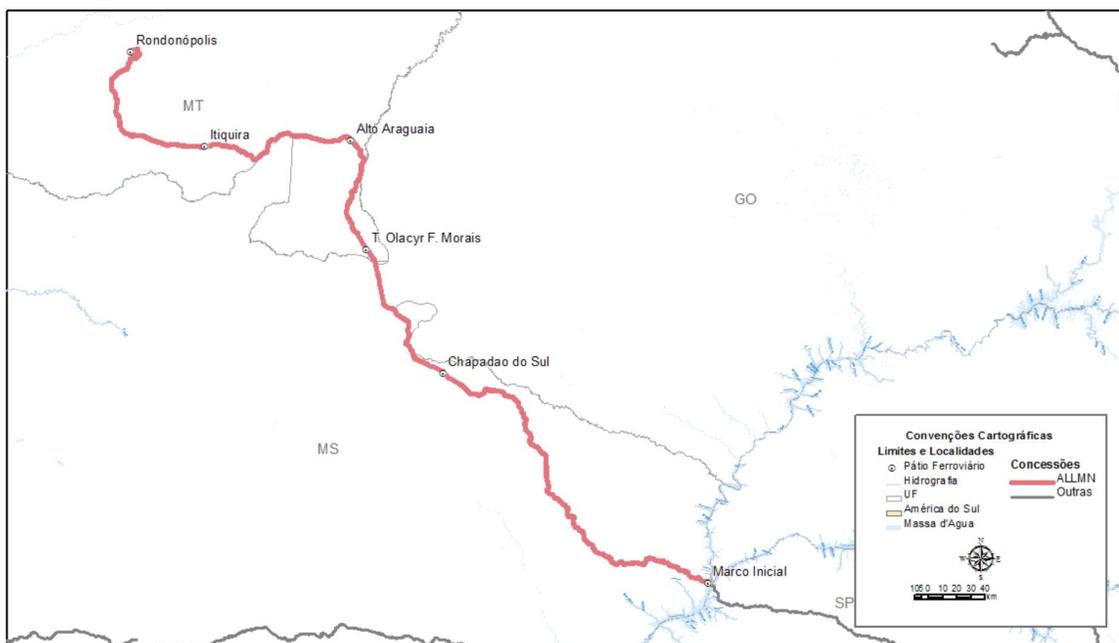


Figura 17 – Mapa da ALLMN
 Fonte: ANTT (2015a)

A ALLMN opera em grandes terminais de soja nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Os maiores destaques são os terminais nos municípios de Rondonópolis e Alto Araguaia com capacidade respectivamente de 71.040 e 54.600 toneladas de soja. Somando-se aos outros terminais, a capacidade total de embarque de soja da ALLMN é de 189.840 toneladas por dia.

Tabela 13 – Terminais de soja da ferrovias ALLMN

Município	Pátio	Terminal	TU/dia
Alto Araguaia - MT	Alto Araguaia	Alto Araguaia	54.600
Chapadão do Sul – MS	Chapadão do Sul	Chapadão Do Sul	23.040
Itiquira – MT	Itiquira	Itiquira	17.760
Rondonópolis - MT	Rondonópolis	Rondonópolis	71.040
Costa Rica - MS	T. Olacyr F. Moraes	Olacyr De Moraes	23.400

Fonte: ANTT (2015a)

5.2.2.3 Cenário da pesquisa

Utilizando-se do aplicativo *Google Earth*, foi desenhada toda a malha ferroviária das operadoras FCA, ALLMP e ALLMN, assim como os seus terminais e os municípios exportadores de soja e de açúcar conforme exibido na Figura 18. O traçado da malha foi retirado do site da ANTT (2015), sendo que o trecho em laranja, Alto Araguaia a Rondonópolis, ainda não consta no site, e portando o seu traçado foi esboçado.

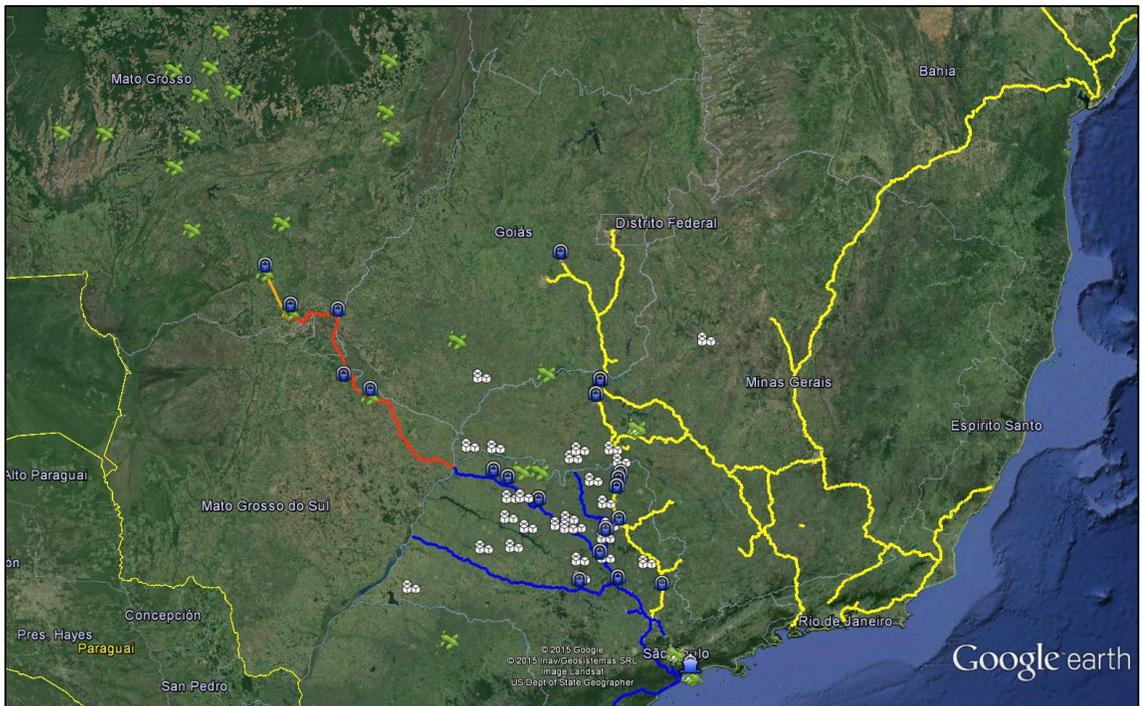


Figura 18 – Mapa dos municípios exportadores e a malha ferroviária

Legenda:

- Município exportador de açúcar
- Município exportador de soja
- Terminal ferroviário
- Porto

Malha Ferroviária:

- Amarela - Ferrovia Centro Atlântica (FCA)
- Azul – América Latina Logística Malha Paulista (ALLMP)
- Vermelha – América Latina Logística Malha Norte (ALLMN)
- Laranja – Novo trecho ferroviário entre Alto Araguaia e Rondonópolis (traçado aproximado).

5.2.3 Custo de Transporte

A ANTT foi criada através da Lei nº 10.233/2001, de acordo com o art. 22 dessa Lei, a esfera de atuação da Agência é compreendida, dentre outros, pelo transporte ferroviário de cargas, pela exploração da infraestrutura ferroviária e o arrendamento dos seus ativos operacionais, pelo transporte multimodal e pelo transporte de cargas especiais e perigosas em ferrovias. E de acordo o art. 24, dentre suas atribuições, a ANTT é responsável por proceder à revisão e ao reajuste de tarifas dos serviços prestados, segundo as disposições contratuais.

Desta forma, a Agência Nacional de Transportes Terrestres por meio da Resolução no. 3.891 de Setembro de 2012 autorizou o reajuste das tarifas máximas de transporte ferroviário de carga da ALLMN de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 – Tarifa de transporte de carga da ALLMN

Mercadoria	Parcela Fixa		Parcela Variável				Unidade
	Valor	Unidade	0-400 km	401-800 km	801-1600 km	Acima de 1600 km	
Soja	9,7	R\$/T	0,0913	0,0822	0,0731	0,0548	R\$/T.KM

Assim, o cálculo da tarifa máxima é em função da distância percorrida, e é calculado da seguinte forma:

Parâmetros:

$T_{máx}$: tarifa máxima a ser cobrada pelo transporte de uma unidade de carga da estação de origem à estação de destino;

P_{fix} : parcela fixa, em R\$ por unidade de carga;

P_{var1} : parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 1 (0-400 km);

P_{var2} : parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 2 (401-800 km);

P_{var3} : parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 3 (801-1.600 km);

P_{var4} : parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 4 (acima de 1.600Km);

$Dist$: distância em quilômetros, da estação de origem à estação de destino.

Equações:

Para distância de transporte de até 400 km:

$$T_{max} = P_{fix} + Dist \times P_{var1} \quad (10)$$

Para distância de transporte de 401 km a 800 km:

$$T_{max} = P_{fix} + 400 \times P_{var1} + (Dist - 400) \times P_{var2} \quad (11)$$

Para distância de transporte de 801 km a 1600 km:

$$T_{max} = P_{fix} + 400 \times P_{var1} + 400 \times P_{var2} + (Dist - 800) \times P_{var3} \quad (12)$$

Para distância de transporte acima de 1600 km:

$$T_{max} = P_{fix} + 400 \times P_{var1} + 400 \times P_{var2} + 800 \times P_{var3} + (Dist - 1600) \times P_{var4} \quad (13)$$

De forma semelhante, através da Resolução no. 3.896 de 6 de Setembro de 2012, a ANTT revisou as tarifas da Ferrovia Centro Atlântica de acordo com a Tabela 15, utilizando da mesma fórmula de cálculo da ALLMN.

Tabela 15 – Tarifa de transporte de carga da FCA

Mercadoria	Parcela Fixa		Parcela Variável				Unidade
	Valor	Unidade	0-500 km	501-1000 km	1001-2000 km	Acima de 2000 km	
Açúcar	14,55	R\$/T	0,083	0,0726	0,0622	0,0415	R\$/T.KM
Soja	14,37	R\$/T	0,0706	0,0618	0,053	0,0353	R\$/T.KM

Por fim, em 15 de Outubro de 2013 a Agência revisou as tarifas da ALLMP conforme a Tabela 16. Devido a malha da ALLMP ser menos extensa que as demais supracitadas, há apenas uma faixa de valores para as tarifas, e conseqüentemente, a fórmula de cálculo é mais simplificada.

Tabela 16 – Tarifa de transporte de carga da ALLMP

Mercadoria	Parcela Fixa		Parcela Variável	
	Valor	Unidade	Faixa Única	Unidade
Açúcar	17,51	R\$/T	0,13035	R\$/T.KM
Soja	27,05	R\$/T	0,10146	R\$/T.KM

Parâmetros:

T_{max} : tarifa máxima a ser cobrada pelo transporte de uma unidade de carga da estação de origem à estação de destino;

P_{fix} : parcela fixa, em R\$ por unidade de carga;

P_{var} : parcela variável, em R\$ por unidade de carga;

Dist: distância em quilômetros, da estação de origem à estação de destino.

Equação:

$$T_{max} = P_{fix} + Dist \times P_{var} \quad (14)$$

5.3 Sistema Rodoviário

5.3.1 Histórico Brasileiro

O Brasil, até meados da década de 40, possuía apenas 423 km de rodovias pavimentadas, entre federais e estaduais, foi quando, em 27 de dezembro de 1945, o então ministro da Viação e Obras Públicas, Maurício Joppert da Silva, levava à sanção do presidente José Linhares o Decreto-lei 8.463. A Lei conferiu autonomia técnica e financeira ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e também criava o Fundo Rodoviário Nacional. (DNIT, 2015)

Como consequência da Lei Joppert, em 1950 o Brasil já contava com 968 km de malha rodoviária pavimentada, e ao final dos anos 60, com exceção de Manaus e Belém, todas as capitais estavam interligadas por estradas federais. Na década de 70, o DNER continuou com as grandes obras rodoviárias para garantir a unidade e soberania nacionais, através das interligações regionais. Assim, foram construídas a Transamazônica, a Belém-Brasília, a construção da Ponte Presidente Costa e Silva (Rio-Niterói), entre tantas outras obras, levando o Brasil em 1980 aos 47 mil km de rodovias federais pavimentadas.

Na década de 90, devido à escassez de recursos, novas alternativas foram colocadas em prática, a exemplo do Programa de Concessões Rodoviárias, o Programa de Descentralização e Restauração da Malha, e o programa Crema, de restauração e manutenção rodoviárias por períodos de 5 anos. (DNIT, 2015)

5.3.2 Oferta

Segundo Departamento Nacional de Infra Estrutura (DNIT, 2015c) através do Sistema Nacional de Viação – SNV de 2015, existem, no país, 1.720.643 km de rodovias, dos quais apenas 210.619 km são pavimentados, isto é, 12,2% da malha. Das rodovias pavimentadas, 11.065 km

são de pista dupla, o que representa apenas 5,25% da malha pavimentada ou apenas 0,64% da malha total.

Segundo dados da CIA (2015), comparando o Brasil com os outros cinco países de maior extensão territorial, o país ocupa a última posição com a menor densidade de malha rodoviária pavimentada, possuindo 25,0 km de estrada pavimentada para cada 1.000 km² de área, conforme mostrado na Figura 19.

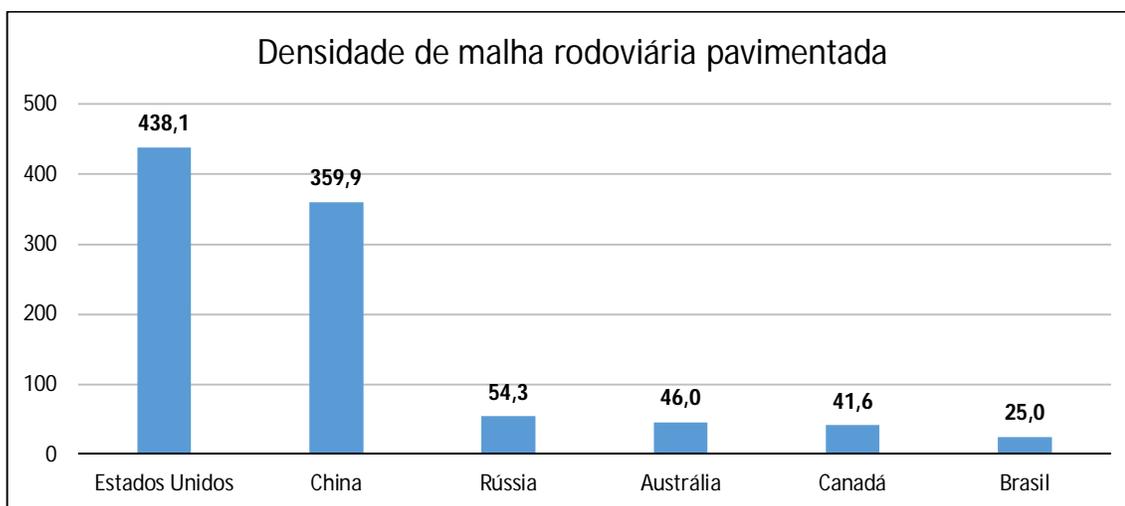


Figura 19 – Densidade de malha rodoviária pavimentada por país
Fonte: CIA (2015)

Segundo o índice de competitividade global do Fórum Econômico Mundial (2015), referente aos anos de 2013 e 2014, a qualidade das estradas brasileiras encontra-se na 122^a posição de um total de 144 países analisados, ficando atrás dos países sul-americanos Argentina (110^a), Peru (102^a), Bolívia (95^a), Uruguai (90^a), Suriname (70^a) e Chile (31^a), e somente a frente do Colômbia (126^a), Venezuela (127^a) e Paraguai (133^a). A pontuação do ranking pode variar de 1 (extremamente subdesenvolvida – entre as piores do mundo) a 7 (extensa e eficiente – entre as melhores do mundo). A pontuação do Brasil foi 2,8, enquanto o primeiro colocado, os Emirados Árabes Unidos, recebeu a nota 6,6.

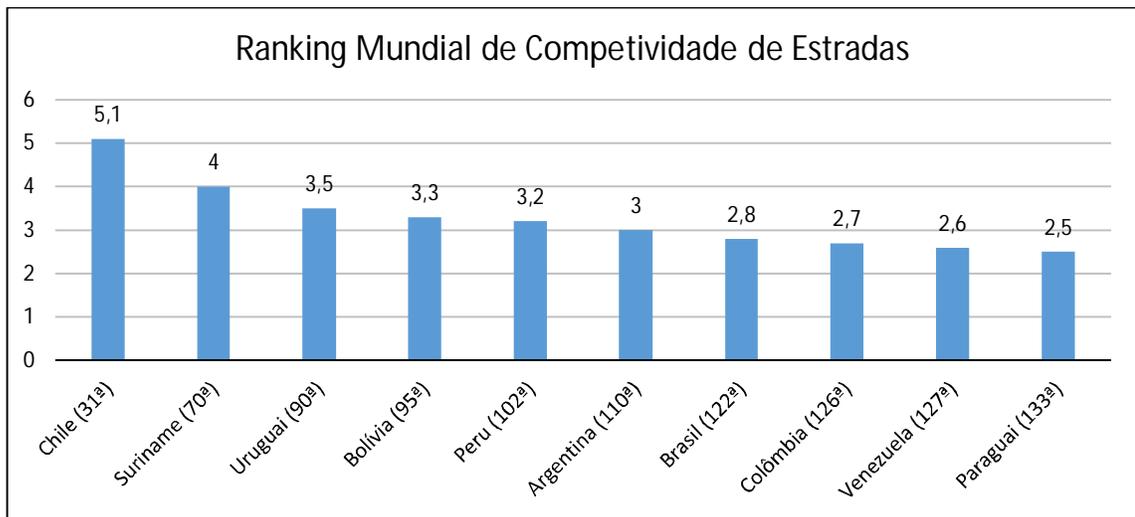


Figura 20 – Ranking mundial de competitividade de estradas
 Fonte: Fórum Econômico Mundial (2015)

A má qualidade das rodovias brasileiras, devido em parte a uma manutenção insuficiente, oferece riscos a todos os seus usuários, e implica também em custos elevados, sobretudo com a operação dos veículos e com a restauração dos pavimentos. Devido ao seu avançado processo de deterioração requer soluções técnicas mais robustas e onerosas para a reversão deste cenário. (CNT, 2014)

5.3.2.1 Cenário da pesquisa

A fim de levantar as distâncias rodoviárias utilizadas no presente estudo, foi utilizada a malha rodoviária brasileira presente no aplicativo *Google Earth*. O mapa com todas as rodovias brasileiras, assim como os municípios produtores de açúcar e soja, é exibido na Figura 21.

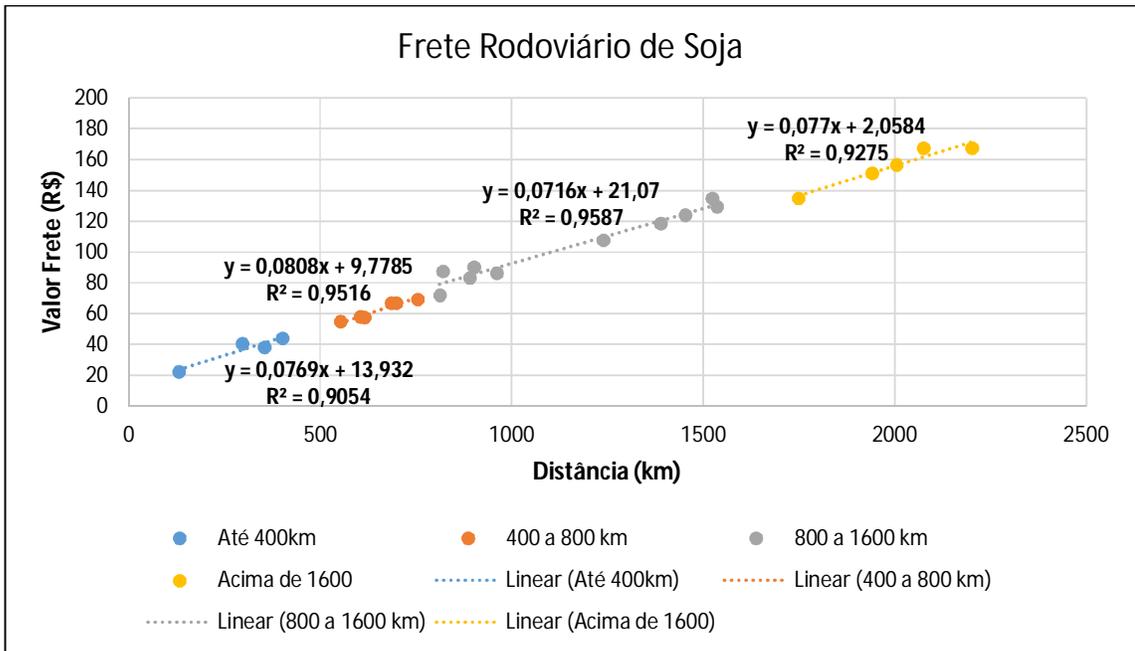


Figura 22 – Frete rodoviário de soja

Em seguida, a fim de ter uma métrica semelhante à adotada aos frentes ferroviários, o valor final de cada faixa foi igualado ao inicial da faixa seguinte, e recalculadas as regressões. O resultado é exibido na Figura 23.

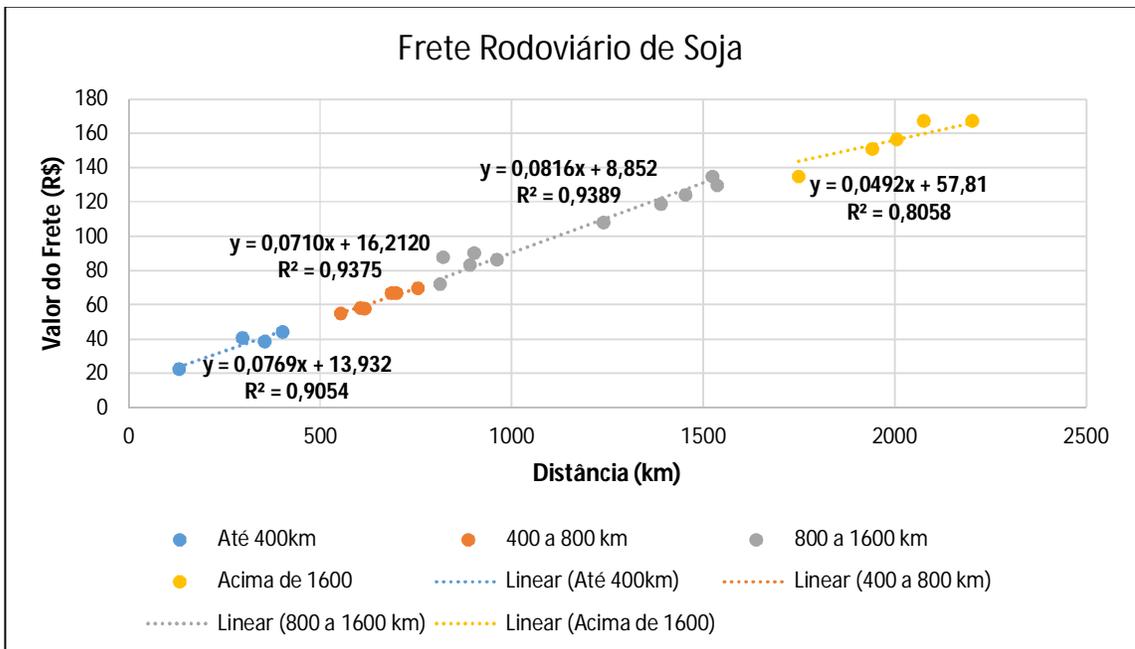


Figura 23 – Frete Rodoviário de soja ajustado por faixas

Assim como feito para a soja, foi utilizado o mesmo método para realizar estimar os valores de frete conforme exibido na Figura 24.

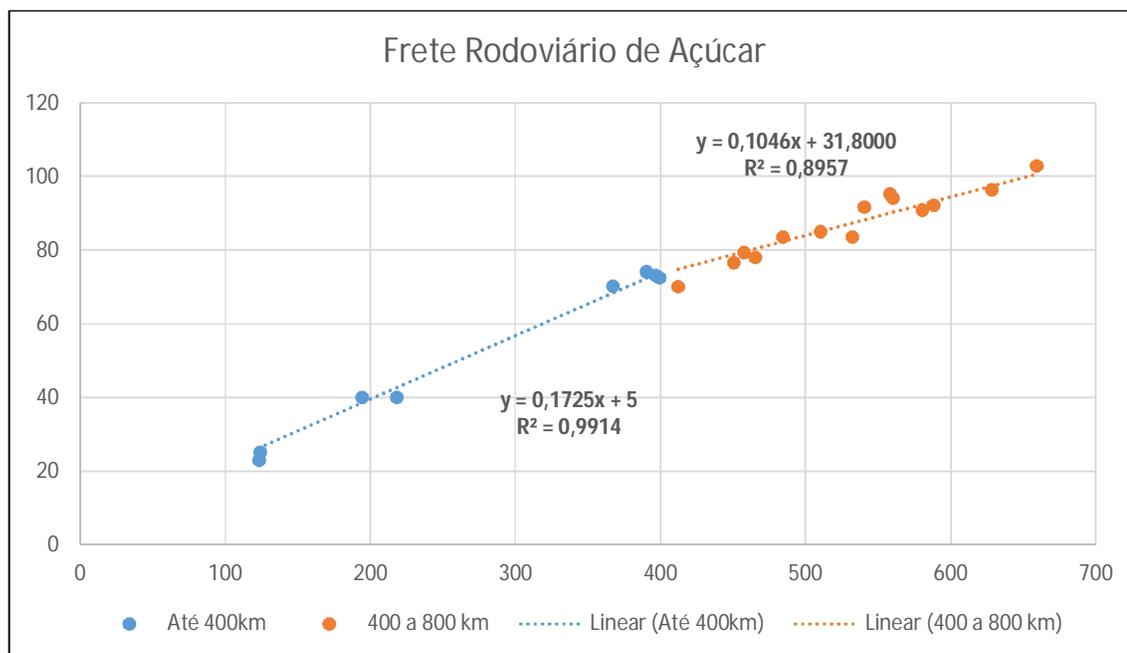


Figura 24 – Frete rodoviário de açúcar ajustado por faixas

Os valores do custo de todos os fretes médios adotados na pesquisa podem ser consultados nos APÊNCIE B (Custo de transporte da origem ao porto de Santos) e APÊNCIE C (Custo de transporte da origem a um terminal rodoferroviário).

6 ALOCAÇÃO DOS FLUXOS NA REDE DE TRANSPORTE

Neste capítulo serão apresentados os resultados das várias simulações realizadas na etapa de alocação dos fluxos na rede de transporte, que são os resultados finais do estudo.

6.1 Alocação com tarifa ferroviária máxima

Para essa primeira simulação foram utilizados os fretes médios rodoviários e as tarifas máximas ferroviárias permitidas pela ANTT. Desta forma, foi possível identificar o potencial de demanda do terminal (P.D.), ou seja, o quanto de carga, em milhões de toneladas, seria embarcado por terminal ferroviário, conforme se encontra na Tabela 17.

Tabela 17 – Potencial de demanda dos terminais com a tarifa máxima ferroviária

Produto	Município	Capacidade (Mtu/ano)	P.D. (Mtu/ano)	P.D./Cap.
Açúcar	Guará - SP	3,19	2,15	67%
Açúcar	Ituverava - SP	3,42	1,10	32%
Açúcar	Ribeirão Preto - SP	1,83	1,83	100%
Açúcar	São Joaquim da Barra - MG	0,57	0,57	100%
Soja	Chapadão do Sul - MS	8,41	0,45	5%
Soja	Uberlândia - MG	4,08	1,97	48%

Percebe-se pela Tabela 17 que apenas quatro terminais de açúcar e dois terminais de soja atraíram carga, o que permite interpretar que o frete médio praticado pela ferrovia está abaixo do teto da tarifa estipulada pela ANTT. Afim de se determinar um frete ferroviário mais próximo do praticado e, com isso, encontrar o potencial de atração de carga de cada terminal efetivo, será apresentada uma análise de sensibilidade em relação ao custo de transporte ferroviário.

6.2 Análise de sensibilidade em relação ao custo ferroviário

Para a análise de sensibilidade em relação ao custo ferroviário, iniciou-se a simulação levando-se em conta a tarifa máxima estipulada pela ANTT e foram feitas simulações realizando “descontos” da tarifa de 10% em 10% e verificado como este desconto poderia impactar no *market share*.

A Figura 25 ilustra como se comportaria o *market share* de acordo com a variação na tarifa ferroviária se o custo de transporte fosse o único fator de decisão na escolha do modo. Percebe-se que com a tarifa ferroviária máxima, o *market share* do setor corresponderia a 32% para o

mercado de transporte de açúcar e 19% no transporte de soja, e aumenta à medida se diminui a tarifa.

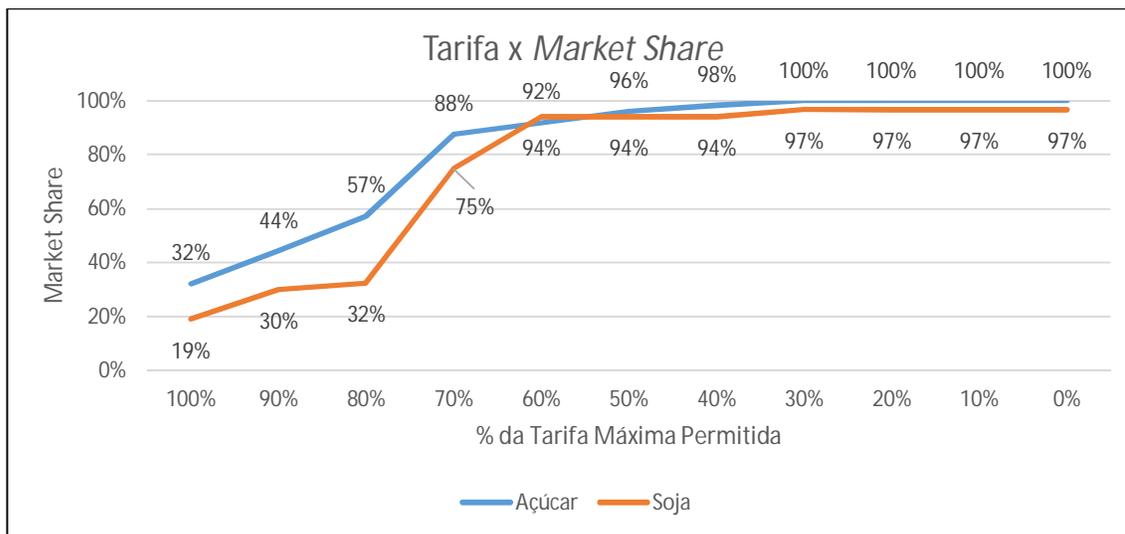


Figura 25 – Variação do *market share* a partir da variação da tarifa ferroviária

Para o açúcar, atinge-se 100% do *market share* quando se aplica uma tarifa 30% do valor máximo permitido. No caso da soja, mesmo aplicando uma tarifa sem custos (0%) ainda não se consegue atingir 100% do *market share*. Este fato se deve ao fluxo com origem em Londrina (PR) cujo frete rodoviário a qualquer um dos terminais disponíveis é mais caro que o transporte rodoviário diretamente ao porto de Santos.

A fim de estimar a tarifa na qual as concessionárias ferroviárias operam, foi confeccionado o gráfico da Figura 26. Nele é representado o faturamento máximo que a concessionária pode alcançar, calculado através da multiplicação do *market share* pela tarifa praticada.

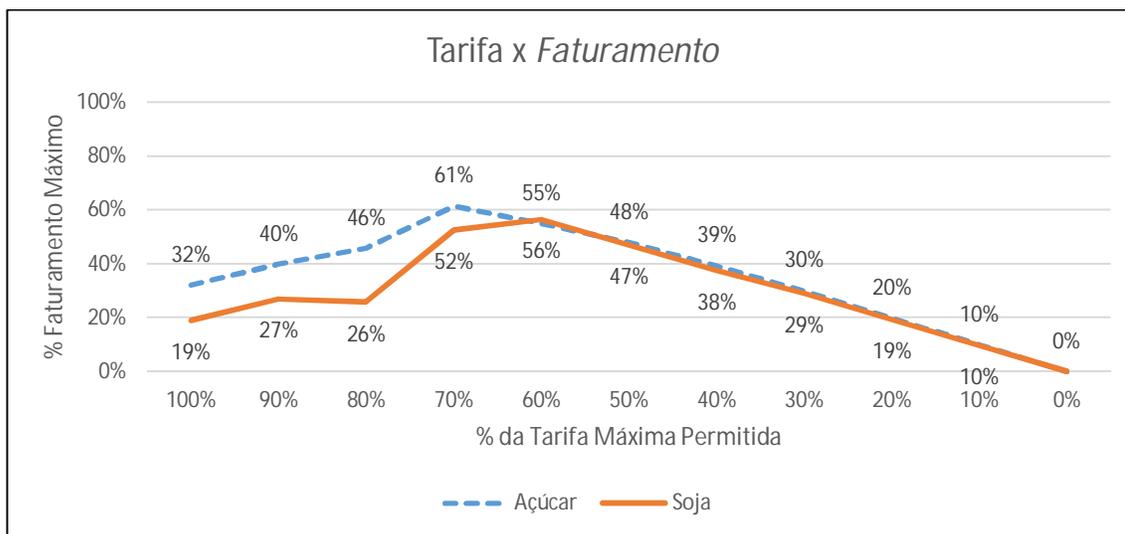


Figura 26 – Variação do faturamento a partir da variação da tarifa ferroviária

A medida que o há uma diminuição da tarifa, conseqüentemente há um aumento da *market share*, como pode ser constatado na Figura 25. Até 70% da tarifa para o açúcar e 60% para o soja, o aumento do *market share* é tão significativo que ele compensa a diminuição da tarifa, e a estimativa do faturamento (representado entre a multiplicação da tarifa pelo *market share*) também aumenta. A partir deste ponto, o aumento do *market share* já não compensa a diminuição da tarifa, e com isso, o faturamento cai. Desta forma, 70% para o açúcar e 60% para a soja são os valores da tarifa que as operadoras atingiriam o valor máximo de faturamento.

6.3 Análise do potencial de utilização dos terminais de açúcar

O presente estudo trata como potencial de utilização (P.U.) de um terminal a razão, em percentual, entre o potencial de demanda do terminal e a sua capacidade. Como exemplo, se o potencial de utilização do terminal é 80%, então atrairá uma demanda equivalente a 80% da capacidade em determinado cenário.

Para a análise de utilização dos terminais foram feitas duas simulações, com a tarifa praticada quando o faturamento é máximo e com a tarifa igual a zero (ver Tabela 18). Quando a tarifa ferroviária é zero, o único fator que determinará a quantidade de carga que o terminal irá atrair é o frete rodoviário do município de origem até o terminal, o que possuir o menor frete será o que irá atrair a carga. Desta forma, os terminais que apresentarem maior potencial de utilização quando a tarifa for 0% serão os que possuem o menor frete rodoviário dos locais de origem a ele, e desta forma estão mais estrategicamente localizados.

Tabela 18 – Potencial de Utilização do terminais de Açúcar

Município	Capacidade (Mtu/ano)	P.U. Tar. 70%	P.U. Tar. 0%
Araguari – MG	0,96	100%	100%
Araraquara – SP	0,58	100%	100%
Fernandópolis - SP	2,80	34%	34%
Guará – SP	3,19	60%	36%
Itirapina – SP	4,38	10%	19%
Ituverava – SP	3,42	100%	100%
Jaú – SP	1,25	38%	70%
Mogi-Guaçu – SP	1,37	60%	0%
Pradópolis – SP	2,80	2%	54%
Ribeirão Preto - SP	1,83	100%	23%
Santa Adélia – SP	2,45	64%	64%
São Joaquim da Barra - MG	0,57	100%	100%

São José do Rio Preto - SP	2,45	72%	78%
Votuporanga – SP	2,92	0%	95%

Percebe-se pela Tabela 18 que cinco terminais apresentaram um potencial de utilização igual a 100% quando a tarifa praticada é 70% do teto da ANTT. Apenas três terminais (Itirapina, Pradópolis e Votuporanga) apresentaram potenciais de utilização muito baixo, inferiores a 10%. O terminal de Itirapina não está localizado próximo a nenhum município grande exportador de açúcar considerado no estudo, e desta forma, a carga atraída é apenas o excedente do terminal de Araraquara cujo potencial atingiu 100%. Quanto ao terminal de Pradópolis, ele está localizado no município de Pradópolis-SP, atraindo toda a carga deste município quando o frete ferroviário é zero, porém perde carga para o terminal de Ribeirão Preto quando o frete praticado é 70%, uma vez que o frete ferroviário do segundo terminal pela FCA possui um teto da tarifa menor. Votuporanga, por sua vez, quando o frete for zero, atrai carga dos municípios de Sebastianópolis do Sul-SP, Quirinópolis-GO, Clementina-SP e Tanabi-SP, porém quando a tarifa for 70% perde carga para os terminais de São José do Rio Preto – SP, Araraquara-SP, e para o modo rodoviário.

Alguns terminais tiveram uma diminuição de *Market Share* quando variou-se a tarifa de 70% para 0%, isso se deve, ao terminal atender a uma ferrovia com tarifa menor do que os aqueles que “roubaram” sua carga, são exemplos: Ribeirão Preto, Mogi-Guaçu e Guará, terminais da FCA que possui uma tarifa máxima menor que a ALLMP.

6.4 Análise do potencial de utilização dos terminais de soja

Da mesma forma, foram realizadas simulações para a soja com a tarifa de faturamento máximo e com a tarifa zero, e obtido os resultados da Tabela 19.

Tabela 19 – Potencial de utilização dos terminais de Soja

Município	Capacidade (Mtu/ano)	P.U. Tar. 60%	P.U. Tar. 0%
Alto Araguaia - MT	19,93	2%	7%
Anápolis - GO	0,99	100%	0%
Araguari - MG	0,96	0%	50%
Chapadão do Sul - MS	8,41	5%	5%
Costa Rica - MS	8,54	0%	0%
Itiquira - MT	6,48	26%	26%
Rondonópolis - MT	25,93	25%	29%
Uberlândia - MG	4,08	48%	19%

Diferentemente dos terminais de açúcar dos quais cinco deles tiveram um potencial de utilização igual a 100%, para a soja somente o terminal de Anápolis obteve 100% para a tarifa igual a 60% do teto.

Também constata-se que os terminais de Anápolis e Uberlândia perdem competitividade caso forem realizados maiores descontos nas tarifas, o que se pressupõe que sua localização é menos competitiva em relações aos demais (P.U.0%). Anápolis perde carga para os terminais de Rondonópolis (MT) e Alto Araguaia (MT) enquanto Uberlândia perde carga para os terminais de Araguari (MG) e Alto Araguaia (MT)

Os terminais de Alto Araguaia (MT), Chapadão do Sul (MT) e Costa Rica (MT) apresentaram potenciais de utilização muito baixos para ambos os cenários, o que é um indicativo que estes terminais foram superdimensionados. Uma possível razão foi expansão da Malha Norte até o município de Rondonópolis e conseqüentemente a migração das cargas dos municípios de grandes municípios exportadores que estão mais próximos deste terminal.

Quanto ao terminal de Alto Araguaia, segundo Thiago (2014), no período entressafra de 2013, a ALL o operou com aproximadamente dez por cento de sua capacidade, sendo que no ano anterior, os pátios do terminal estavam lotados de caminhões, operando em 100% de sua capacidade. Desta forma, o relato do autor vai em linha ao calculado no presente estudo.

6.5 Análise do potencial de utilização nos meses de pico

Com o intuito de melhor avaliar a capacidade dos terminais, além das simulações com os volumes médios praticados em 2014, foram feitas simulações com a produção no período de pico a fim de se verificar o impacto na utilização dos terminais. Para isso, foi feito um levantamento das exportações mensais de soja e açúcar em 2014 e exibidos na Figura 27.

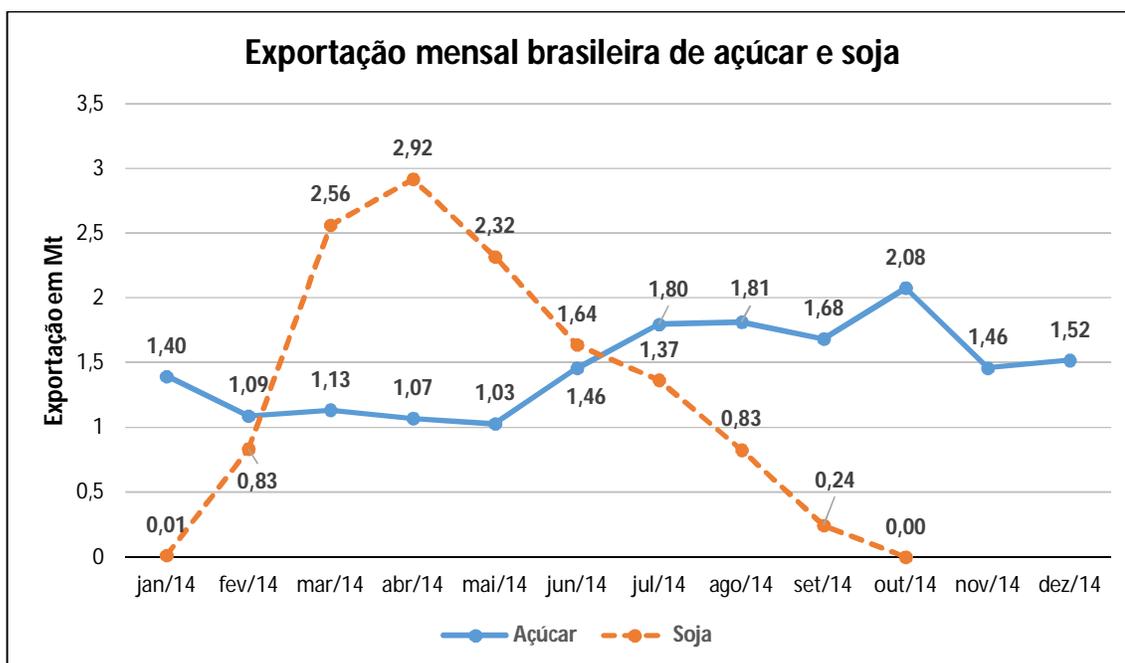


Figura 27 – Exportação mensal de açúcar e soja em 2014

Desta forma, a fim de verificar a capacidade dos terminais, foi analisada a oferta nos meses de pico de cada produto. Para o açúcar, os meses de maior exportação foram os meses de julho, agosto, setembro e outubro, e para a soja, março, abril e maio. Tomando por base esses parâmetros, foi realizada a simulação com os valores de exportação de açúcar nos meses de pico cujos resultados são apresentados na Tabela 20. Foi utilizado o valor do frete ferroviário igual a 70% da tarifa máxima, valor estimado que propicia o maior faturamento à ferrovia.

Tabela 20 – Utilização dos terminais de açúcar nos meses de pico

Município	P.U. Tar. 70%	P.U. Pico 70%
Araguari - MG	100%	100%
Araraquara - SP	100%	100%
Fernandópolis - SP	34%	37%
Guará - SP	60%	100%
Itirapina - SP	10%	16%
Ituverava - SP	100%	100%
Jaú - SP	38%	46%
Mogi-Guaçu - SP	60%	88%
Pradópolis - SP	2%	17%
Ribeirão Preto - SP	100%	100%
Santa Adélia - SP	64%	56%
São Joaquim da Barra - MG	100%	100%
São José do Rio Preto - SP	72%	95%
Votuporanga - SP	0%	0%

Analisando os resultados, como era esperado, houve incremento da utilização em todos os terminais, exceto os que já apresentavam taxa de utilização igual a 100% (Araguari, Araraquara, Ituverava, Ribeirão Preto e São Joaquim da Barra). Destaque pode ser dado aos terminais de Guará, cujo potencial de utilização aumentou de 60% para 100%, e também aos terminais de Mogi-Guaçu e São Jose do Rio Preto cujos potenciais foram, respectivamente, 88% e 95%.

De forma semelhante, foi realizado a simulação para os meses de pico de exportação de soja, cujos resultados são apresentados na Tabela 21. Foi utilizado o valor de 60% do teto da tarifa máxima estipulada pela ANTT para o frete ferroviário, que conforme antecipado, é o valor estimado que proporciona o maior faturamento à ferrovia no transporte de soja.

Tabela 21 – Potencial de utilização dos terminais de soja nos meses de pico

Município	P.U. Tar. 60%	P.U. Pico Tar. 60%
Alto Araguaia - MT	2%	5%
Anápolis - GO	100%	100%
Araguari - MG	0%	4%
Chapadão do Sul - MS	5%	12%
Costa Rica - MS	0%	0%
Itiquira - MT	26%	69%
Rondonópolis - MT	25%	58%
Uberlândia - MG	48%	100%

Os terminais de Anápolis e Uberlândia foram os únicos a apresentarem potencial de utilização de 100%. Os terminais de Rondonópolis e Itiquira apresentaram taxas intermediárias, 58% e 69%, respectivamente. Com a lotação do terminal de Uberlândia, parte de sua carga foi migrada para Araguaia. Entretanto, o seu potencial ficou muito baixo, assim como o terminal de Alto Araguaia. O terminal de Costa Rica foi o único que mesmo no período de pico apresentou potencial igual a 0%.

6.6 Análise de sensibilidade em relação à introdução de novo terminal

A empresa VLI, controladora da Ferrovia Centro Atlântica, construirá um grande terminal para transbordo e armazenagem de grãos e açúcar na cidade de Uberaba no triângulo mineiro. O terminal terá uma capacidade anual de movimentar de 6,3 milhões de toneladas de grãos e 2,4

de açúcar com destino à exportação pelo terminal portuário da empresa em Santos (Portal G1, 2014).

Desta forma, a fim de validar o modelo como sendo adequado para estimar o potencial de demanda de carga para um novo terminal, foi realizada uma nova simulação na qual foi incluído o terminal de Uberaba para o transporte de açúcar. Na simulação foram utilizados os custos ferroviários equivalentes a 70% da tarifa máxima e não foi imposta a restrição de capacidade ao terminal, de forma que não limitasse o seu potencial de demanda. Os resultados podem ser observados na Tabela 22.

Tabela 22 – Potencial de demanda do terminal de Uberaba

Município	Capacidade (Mtu/ano)	P.D. Tar. 70% s/ Uber. (Mtu/ano)	P.D. Tar. 70% c/ Uber. (Mtu/ano)	Varição
Araraquara - SP	0,58	0,58	0,58	0%
Fernandópolis - SP	2,80	0,96	0,4	-20%
Guará - SP	3,19	1,91	0,27	-51%
Itirapina - SP	4,38	0,45	0,45	0%
Ituverava - SP	3,42	3,42	3,19	-7%
Jaú - SP	1,25	0,47	0,47	0%
Mogi-Guaçu - SP	1,37	0,82	0,82	0%
Pradópolis - SP	2,80	0,06	0,06	0%
Ribeirão Preto - SP	1,83	1,83	1,83	0%
Santa Adélia - SP	2,45	1,57	1,57	0%
São Joaquim da Barra - MG	0,57	0,57	0,57	0%
São José do Rio Preto - SP	2,45	1,77	1,77	0%
Votuporanga - SP	2,92	0,00	0	0%
Uberaba - MG			2,59	

Pode-se dizer com base nos resultados que o potencial de demanda do terminal de Uberaba para o transporte de açúcar é de 2,59 milhões de toneladas ano, valor esse 8% acima do valor divulgado no Portal G1 (2014). Desta forma, verifica-se que o modelo está em linha a capacidade divulgada pela reportagem. Ao introduzir o terminal de Uberaba, o modelo indica que haverá migração de carga dos terminais de Fernandópolis (SP), Guará (SP) e Ituverava (SP), devido à proximidade do terminal aos municípios mineiros de Iturama, Pirajuba, João Pinheiro, Uberaba, Campo Florido, além de atrair a carga do próprio município.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nos últimos anos, as concessionárias ferroviárias estão investindo fortemente no aumento da eficiência, confiabilidade e capacidade de suas operações, através da renovação de material rodante, na recuperação da linha férrea e na criação de novos terminais ferroviários.

Devido à importância dos terminais para a atração de cargas para a ferrovia, assim como o aumento dos investimentos realizados pelas concessionárias, o presente trabalho se propôs a criar uma metodologia para melhor direcionar os investimentos relacionados à criação de novos terminais ou expansão dos existentes.

Definiu-se como objetivo *elaborar uma metodologia para avaliar o potencial de demanda para um terminal rodoferroviário de carga, através da otimização de uma rede de transporte*. Desta forma, foi possível verificar quais terminais possuem um potencial de demanda maior que sua capacidade, e portanto, devem ser priorizados para um possível ampliação. De forma semelhante, também foi possível avaliar o impacto da introdução de um novo terminal na malha, identificando a migração de fluxos dos terminais existentes para o novo.

A revisão da literatura indicou que o problema abordado poderia ser solucionado por meio da adaptação de um modelo *de fluxo de custo mínimo multicommodity*. Assim, o modelo foi aperfeiçoado com o objetivo de melhor avaliar as interações nos nós da malha, que são a representação dos terminais na malha de transporte. Foram incluídas no modelo original restrições de capacidade dos terminais e criou-se uma nova variável para avaliar a quantidade de carga embarcada em cada um. Com isso, permitiu-se uma melhor análise da utilização dos terminais em uma malha otimizada.

Verificou-se que a ferrovia é pouco competitiva em relação ao transporte rodoviário quando ela operado com o teto da tarifa máxima da ANTT. Desta forma, foi feita uma análise de sensibilidade na qual foi variado o frete ferroviário a fim de se identificar a variação no *market share* da ferrovia. Em seguida, foram multiplicados os valores de *market share* e da tarifa, a fim de se identificar os valores de tarifa que proporcionariam o maior faturamento à ferrovia. Assim, chegou-se aos valores de 60% e 70% do teto da tarifa, respectivamente para soja e açúcar.

Utilizando-se destes valores de fretes e do modelo de otimização, foi avaliado o potencial de demanda para cada terminal. Foram identificados aqueles terminais que têm uma demanda

anual estimada maior que sua capacidade nominal, que são os terminais de açúcar nos municípios de Araguari, Ituverava, Ribeirão Preto e São Joaquim da Barra , e o terminal de soja de Anápolis.

Como o transporte de commodities apresenta uma forte sazonalidade, em especial a soja, foi feita uma outra simulação a fim de se avaliar a capacidade destes terminais nos meses de pico. Assim, foi verificado que além dos terminais de açúcar já citados, o terminal de Guará também obteve lotação máxima, e os terminais de Mogi-Guaçu e São Jose do Rio Preto obtiveram potenciais de utilização aumentados para 88% e 95%, respectivamente. Quanto aos terminais de soja, apenas os terminais de Anápolis e Uberlândia obtiveram potenciais de utilização igual a 100%.

Com o objetivo de validar o modelo quanto à estimativa de demanda de um novo terminal, foi avaliado o terminal de Uberaba que está em fase de construção e tem uma capacidade de embarque de 2,4 milhões de toneladas de açúcar ano. Utilizando-se do modelo, verificou-se que o terminal tem um potencial de demanda de 2,59 milhões de toneladas ano, valor esse 8% acima do valor divulgado. Desta forma, conclui-se que o modelo apresentou um resultado satisfatório, em linha ao esperado.

A relativa baixa complexidade somada à facilidade de implementação do modelo, o tornam uma poderosa ferramenta para a estimativa de captação de carga não só para os terminais, como também para toda a malha. Como demonstrado pelo trabalho, o modelo permite simular vários cenários, como variações dos custos, da demanda e das capacidades da malha. Dentre suas aplicações, destaca-se a possibilidade de utilização da metodologia pelas concessionárias para a definição de suas tarifas em cada fluxo.

Os valores de potencial de demanda apresentados pela pesquisa são valores estimados que irão variar de acordo com os fretes praticados. Portanto, tanto melhor será a estimativa do potencial de demanda dos terminais quanto mais próximo os valores de frete utilizados no modelo sejam dos fretes praticados.

Importante ressaltar que este presente estudo utiliza-se apenas da variável custo como único fator para determinar a escolha da rota. Logo, estudos complementares devem ser realizados a fim de validar o potencial de demanda.

7.1 Propostas para continuidade do trabalho

Com o intuito aprofundar este trabalho, alguns pontos podem ser citados como sugestão para pesquisas futuras:

- Replicar o modelo em outros corredores logísticos, buscando identificar os potenciais de demanda de outros terminais;
- Utilizar o modelo considerando tanto dos fluxos de exportação, quanto de importação e destinados ao mercado interno;
- Propor um novo modelo que considere outras variáveis quantitativas e qualitativas para a decisão de alocação dos fluxos;
- Incluir os fretes portuários no custo total do fluxo. Os fretes dos navios podem ser diferenciados por porto e destino, desta forma, também será possível estimar o potencial de demanda dos portos;
- Modificar o objetivo do modelo de minimização do custo total de transporte para maximização dos lucros das concessionárias ferroviárias. Assim, o modelo priorizará o fluxo mais rentável em favor da ferrovia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, Ravindra K.; MAGNANTI, Thomas L.; ORLIN, James B. *Network flows: theory, algorithms, and applications*. 1. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1993. 649 p.

ALL (América Latina Logística), 2006, *Comunicado Relevante à Comissão de Valores Mobiliários*. Disponível em: <http://ri.all-logistica.com/all/web/arquivos/ALL_FR_20060616_port.pdf>. Acesso em: 18 de Maio de 2015

ALMEIDA, Cleibson A. et al.; Modelagem matemática e simulação para otimizar o escoamento da soja brasileira exportada à China. *RACE-Revista de Administração, Contabilidade e Economia*, v. 12, n. 1, p. 199-224, 2013.

AMARAL, Mônica; ALMEIDA, Marina S.; MORABITO, Reinaldo; Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 717-732, 2012.

ANTF (Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários), 2015, *Resumo Associadas – FCA*. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php/fca>>. Acesso em: 18 de Maio de 2015.

ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), 2014, *Declaração de Rede*. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/25863.html>>. Acesso em 01 de Março de 2015.

ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), 2014, *Evolução do Transporte Ferroviário de Cargas*. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/15884/Evolucao_do_Transporte_Ferroviano.html>. Acesso em: 22 de Abril de 2015.

ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), 2015, *Concessões*. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5262/Concessoes.html>>. Acesso em: 21 de Maio de 2015.

ARNOLD, Pierre; PEETERS, Dominique; THOMAS, Isabelle. Modelling a rail/road intermodal transportation system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 40, n. 3, p. 255-270, 2004.

BARROS, A. R. *Análise dos Impactos Socioeconômicos da Instalação da Ferrovia Norte Sul nos Municípios de Colinas do Tocantins e Palmeirante*. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

BRANCO, José Eduardo H. *Estimativa da demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul*. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BRANCO, José Eduardo H., et al. Otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor Centro-Norte: *Amazônia: Ci. & Desenv.*, Belém, v. 7, n. 14, 2012

BUSACKER, Robert G.; GOWEN, Paul J. A procedure for determining a family of minimum cost flow networks. *ORO Techn. Report*, v. 15, 1961.

CIA (*Central Intelligence Agency*), 2015. *The World Factbook*. Disponível em: < <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/> > Acesso em: 20 de Maio de 2015

DALTO, Edson .J. *Ferramenta de simulação para auxiliar o produtor brasileiro de soja no desenvolvimento de estratégia logística e financeira de comercialização de uma safra do produto a granel*. 2003. 247 f. Tese (Doutorado em Administração). Programa de Pós-graduação em Administração - COPPEAD, Universidade Federal de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), 2015. *Histórico Ferroviário*. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp>>. Acesso em: 13 de Maio de 2015.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), 2015. *Breve Histórico do rodoviarismo brasileiro*. Disponível em: < <http://www1.dnit.gov.br/historico/> >. Acesso em: 13 de Maio de 2015.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), 2015. *Sistema Nacional de Viação*. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1> >. Acesso em: 20 de Maio de 2015.

DUBKE, Alessandra F. *Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja*. 2006. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2006.

CAMPOS NETO, Carlos A. S. et al. *Gargalos e demandas da infraestrutura ferroviária e os investimentos do PAC: mapeamento Ipea de obras ferroviárias*. 2010. 46 f. Texto para Discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2010.

CNT (Confederação Nacional do Transporte). Relatório Gerencial, Pesquisa CNT de Rodovias 2014. 18ª. Edição – 2014. Disponível em: < <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx?origem=2> > Acesso: 20 de Maio de 2015

COELI, Carla C. M. *Análise Da Demanda Por Transporte Ferroviário: O Caso Do Transporte De Grãos E Farelo De Soja Na Ferronorte*. 2004. 147 f. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

FCA (Ferrovia Centro Atlântica). Site institucional. Disponível em < <http://www.fcasa.com.br/sobre-a-fca/> > Acesso em: 13 de Maio de 2015.

FCA (Ferrovia Centro Atlântica). *Demonstrações Contábeis em 31/12/2013*. 2013. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5279/Ferrovia_Centro_Atlantica_S_A_.html#lista>. Acesso em: 13 de Maio de 2015.

FERNANDES, Kellen C. C. et al. Modelo de Otimização Logística Multimodal de Transporte para Exportação do Farelo de Soja do Sudoeste Goiano. *Conjuntura Econômica Goiana*, v. 16, p. 23-32, 2010

FERRARI, Renata C. *Utilização de modelo matemático de otimização para identificação de locais para instalação de unidades armazenadoras de soja no estado do Mato Grosso*. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. Ranking de competitividade da qualidade das estradas. Disponível em: < <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2014-2015/rankings/> >. Acesso em: 20 de Maio de 2015

HORNER, Mark W.; O'KELLY, Morton E. Embedding economies of scale concepts for hub network design. *Journal of Transport Geography*, v. 9, n. 4, p. 255-265, 2001.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); *Sistema IBGE de Recuperação Automática*, 2015. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 20 de junho de 2015.

ILOS. *Custos Logísticos*. Rio de Janeiro: Instituto ILOS, 2011.

ISHFAQ, Rafay; SOX, Charles R. Hub location–allocation in intermodal logistic networks. *European Journal of Operational Research*, v. 210, n. 2, p. 213-230, 2011.

KÜSTER, Guilherme B. *A expansão do grupo All-América Latina Logística SA*. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LEUNIG, T. Social Savings. *Journal of Economic Surveys*. v. 24, n. 5, p. 775-800, 2010.

LIMBOURG, Sabine; JOURQUIN, Bart. Optimal rail-road container terminal locations on the European network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 45, n. 4, p. 551-563, 2009.

MACHADO, Fúlvio de Barros Pinheiro. *Brasil, a doce terra*. mimeo, sd, 2000. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia_da_cana_000fhc62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2015.

MASCARENHAS, Calistênia et al. Aplicação de um modelo de localização para a questão logística da soja brasileira: uma indicação de localização para armazéns. *XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, v. 1, n. 1, p. 686-698, 2014.

MELLO, Ana Lucia D. *Contribuição À Integração Entre Pátio Ferroviário E Terminal Portuário De Contêiner*. 2012. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. *Relatório Final do Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT*. Brasília, 2012. Disponível em <<http://transportes.gov.br/conteudo/2818-pnlt-relatorio-executivo-2011.html>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Balanço Comercial – Séria Histórica (1989-2014)*. 2015 Disponível em: <

<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial> >. Acesso em: 22 de Abril de 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2015 Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/exportacao> >. Acesso em: 22 de Abril de 2015

MDIC, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: < <http://aliceweb.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 04 de Maio de 2015.

MDIC, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sistemas_web/aprendex/default/index/conteudo/id/21 >. Acesso em: 04 de Maio de 2015.

MORALES, Paulo Roberto D. *Modelo para gerenciamento de um corredor ferroviário de transporte de carga*. 1993. 176 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1993.

MORALES, Paulo Roberto D. M.; D'AGOSTO, Márcio A.; SOUZA, Cristiane D. R. Otimização de rede intermodal para o transporte de soja do norte do Mato Grosso ao porto de Santarém. *Journal of Transport Literature*, v. 7, n. 2, p. 29-51, 2012.

OJIMA, Andréa L. R. O.; YAMAKAMI, Akebo. Modelo de programação quadrática para análise da movimentação logística e comercialização da soja brasileira. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 552-560, maio/agosto, 2006.

O'KELLY, Morton E.; BRYAN, D. L. Hub location with flow economies of scale. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 32, n. 8, p. 605-616, 1998.

OLIVEIRA, Ana Maria K.; CAIXETA FILHO, José Vicente. Potencial da logística ferroviária para exportação de açúcar em São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais. *RER*, Rio de Janeiro, v. 45, n. 4, p. 823-853, 2007.

NEVES, Marcos .F.; TROMBIN, Vinícius G.; CONSOLI, Matheus A. *Mapeamento e Quantificação do Setor Sucroenergético em 2008*. Ribeirão Preto, Markestrat, 2009.

PORTAL G1. *Projeto de 'Terminal Integrador' é apresentado em Uberaba*. Disponível em: < <http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2014/12/projeto-de-terminal-integrador-e-apresentado-em-uberaba.html> >. Acesso em 10 de Junho de 2015.

REIS, Sílvia A. *Demanda por Transporte Ferroviário: O Caso do Transporte de Açúcar na Malha Ferroviária da Região Centro-Sul*. 2007 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RODRIGUE, Jean-Paul; COMTOIS, Claude; SLACK, Brian. *The geography of transport systems*. Routledge, 2013.

RUTTEN, Ben J. C. M. *On medium distance intermodal rail transport: a design method for a road and rail inland terminal network and the Dutch situation of strong inland shipping and road transport modes*. 1995. 429 f. Thesis (PhD) - Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology Delft University of Technology, Delft, NE, 1995.

SIFRECA (Sistemas de Informações de Fretes). *Anuário 2012*. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), 2012.

SILVA, Vitor B. *Distribuição modal rodo-ferroviária em uma rede de exportação de açúcar a granel para o porto de Santos*. 2005. 195 f. Dissertação (Mestrado em Transporte) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, Michael P.; MARUJO, Lino G.. Análise de modelo intermodal para escoamento da produção da soja no centro oeste brasileiro. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 3, p. 90-106, 2012.

SOUZA, Cristiane D. R.; D'AGOSTO, Márcio A. Modelo de quatro etapas aplicado ao planejamento de transporte de carga. *Journal of Transport Literature*, v. 7, n. 2, p. 207-234, 2012.

THIAGO, Fernando; TRIGUEIRO, Francisco M. C.; FERREIRA, Humberto M. G.; SILVA, Marco Antônio P.; Criação de Novos Terminais Intermodais e seus impactos: um estudo na região de Alto Araguaia. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 2014, São Paulo.

USDA, United States Department of Agriculture. *USDA Long-Term Agricultural Projection Tables*. Fevereiro, 2015. Disponível em:

<<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewStaticPage.do?url=http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/ers/94005/./2015/index.html>>. Acesso em: 04 de Maio de 2015.

USDA, United States Department of Agriculture. *Sugar: World Markets and Trade*. Novembro, 2014. Disponível em:

< <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1797> >.
Acesso em: 11 de Maio de 2015.

VASCONCELOS, Adriano D. *Metodologia para Localização de Terminais Concentradores em Redes de Transporte sob Gerenciamento Descentralizado*. 2009. 211 f. Tese D.Sc. (Doutorado em Engenharia de Transportes). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

VENCOVSKY, Vitor P. *Sistema ferroviário e o uso do território brasileiro: uma análise do movimento de produtos agrícolas*. 2006. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, SP, 2006.

MELLO, Ana Lucia D. *Contribuição à integração entre pátio ferroviário e terminal portuário de contêiner*. 2012. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

WIDMER, João A. ; TIAGO, Renato P. A atratividade do transporte intermodal rodoviário-ferroviário de contêineres para o porto de Santos e a localização de terminais de transferência no Estado de São Paulo. In: XIX CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2005, Recife. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2005. Recife: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005. v. 1. p. 276-285

APÊNCIE

Código fonte do algoritmo de otimização implementado no GAMS

\$solcom #

\$call msappavail -Excel

\$if errorlevel 1 \$abort.noerror 'Microsoft Excel não disponível!';

SET

O Origem

D Destino

TE Terminal de Embarque

TD Terminal de Desembarque

P Produto;

PARAMETERS

COD(P,O,D) Custo do transporte de um produto P da origem O a um destino D

COT(P,O,TE) Custo do transporte de um produto P da origem O a terminal de
desembarque TE

CTT(P,TE,TD) Custo do transporte de um produto P de terminal de embarque TE a
terminal de desembarque TD

CTD(P,TD,D) Custo do transporte de um produto P de terminal de desembarque TD
ao destino D

OM(P,O) Oferta por município

DP(P,D) Exportação por porto

ResEmb(P,TE) Restrição de Embarque;

SCALAR fm Razão entre o frete rodoviário e o ferroviário /0.95/;

\$call gdxrw @gdxrw.in trace=0

\$if errorlevel 1 \$abort 'erro na leitura do arquivo Excel'

\$gdxin parametros

\$load P D O COD TE COT TD CTT CTD EM EP ResEmb

VARIABLES

FOD(P,O,D) Fluxo de transporte de um produto P da origem O a um destino D

FOT(P,O,TE) Fluxo de transporte de um produto P da origem O a terminal de desembarque TE

FTT(P,O,TE,TD) Fluxo de transporte de um produto P de terminal de embarque TE a terminal de desembarque TD

FTD(P,O,TD,D) Fluxo de transporte de um produto P de terminal de desembarque TD ao destino D

ETE(P,TE) Carga embarcada no terminal de embarque

CT Custo Total de transporte ;

POSITIVE VARIABLE FOD,FOT,FTT,FTD;

EQUATIONS

CUSTOTOTAL Custo total de transporte

DEMAND(P, D) Matriz de demanda de exportação por porto

OFERTA(P, O) Matriz de oferta da produção por município

CONTINUIDADE1x(P,O,TE) Equação de continuidade 1

CONTINUIDADE2x(P,O,TD) Equação de continuidade 2

CARGA(P, TE)

EMBARQUE(P, TE);

$$\begin{aligned} \text{CUSTOTOTAL} \dots \text{CT} = & \text{E} = \text{SUM}((\text{P},\text{O},\text{D}), \text{FOD}(\text{P},\text{O},\text{D}) \quad * \text{COD}(\text{P},\text{O},\text{D})) \\ & + \text{SUM}((\text{P},\text{O},\text{TE}), \text{FOT}(\text{P},\text{O},\text{TE}) \quad * \text{COT}(\text{P},\text{O},\text{TE})) \\ & + \text{SUM}((\text{P},\text{O},\text{TE},\text{TD}), \text{FTT}(\text{P},\text{O},\text{TE},\text{TD}) * \text{fm} * \text{CTT}(\text{P},\text{TE},\text{TD})) \\ & + \text{SUM}((\text{P},\text{O},\text{TD},\text{D}), \text{FTD}(\text{P},\text{O},\text{TD},\text{D}) \quad * \text{CTD}(\text{P},\text{TD},\text{D})); \end{aligned}$$

CARGA(P,TE) .. ETE (P,TE) =E= SUM((O), FOT(P,O,TE));

EMBARQUE(P,TE) .. ETE (P,TE) =L= ResEmb(P,TE);

DEMAND(P,D) .. SUM(O, FOD(P,O,D)) + SUM((O,TD),FTD(P,O,TD,D)) =L= DP(P,D) ;

restricao que garante que o transporte para o porto não excede sua demanda

OFERTA(P,O) .. SUM(D, FOD(P,O,D)) + SUM(TE, FOT(P,O,TE)) =E= OM(P,O) ; #

restricao que garante que toda a produção seja transportada

CONTINUIDADE1x(P,O,TE) .. FOT(P,O,TE) =E= SUM(TD,FTT(P,O,TE,TD)); # restricao

que garante que todo produto embarcado seja transportado

CONTINUIDADE2x(P,O,TD) .. SUM(TE,FTT(P,O,TE,TD)) =E= SUM(D, FTD(P,O,TD,D))

; # restricao que garante que todo produto transportado em TE e TD seja transportado para o

Destino

MODEL TRANSPORT /ALL/ ;

SOLVE TRANSPORT USING LP MINIMIZING CT ;

DISPLAY Zx.l;

execute_unload 'parametros.gdx', FOD;

execute 'gdxxrw.exe parametros.gdx var=FOD.l rng=FOD!a1';

execute_unload 'parametros.gdx', FOT;

execute 'gdxxrw.exe parametros.gdx var=FOT.l rng=FOT!a1';

execute_unload 'parametros.gdx', FTT;

execute 'gdxxrw.exe parametros.gdx var=FTT.l rng=FTT!a1';

execute_unload 'parametros.gdx', FTD;

execute 'gdxxrw.exe parametros.gdx var=FTD.l rng=FTD!a1';

execute_unload 'parametros.gdx', Zx;

execute 'gdxxrw.exe parametros.gdx var=Zx.l rng=Zx!a1';

APÊNCIE B

Tabela com os parâmetros de custo de transporte da origem ao porto de Santos

		SANTOS - SP
Açúcar	SÃO PAULO-SP	17,59
Açúcar	SANTOS-SP	5
Açúcar	GUAÍRA-SP	85,08
Açúcar	SEBASTIANÓPOLIS DO SUL-SP	92,13
Açúcar	PRADÓPOLIS-SP	72,5
Açúcar	DELTA-MG	77
Açúcar	MORRO AGUDO-SP	79,29
Açúcar	SANTA CRUZ DAS PALMEIRAS-SP	60,55
Açúcar	QUIRINÓPOLIS-GO	117,47
Açúcar	CLEMENTINA-SP	89,5
Açúcar	AMÉRICO BRASILIENSE-SP	70,32
Açúcar	ITURAMA-MG	107,02
Açúcar	PIRAJUBA-MG	90,95
Açúcar	VISTA ALEGRE DO ALTO-SP	76,54
Açúcar	BOCAINA-SP	74,11
Açúcar	JOÃO PINHEIRO-MG	132,55
Açúcar	SERTÃOZINHO-SP	70,1
Açúcar	UBERABA-MG	94,13
Açúcar	NOVA EUROPA-SP	73,12
Açúcar	CARNEIRINHO-MG	111,03
Açúcar	MIRANTE DO PARANAPANEMA-SP	105,02
Açúcar	CATANDUVA-SP	77,96
Açúcar	PROMISSÃO-SP	91,75
Açúcar	CAMPO FLORIDO-MG	96,33
Açúcar	PARAÍSO-SP	83,5
Açúcar	MENDONÇA-SP	83,55
Açúcar	ARIRANHA-SP	71
Açúcar	TANABI-SP	95,33
Açúcar	SANTA JULIANA-MG	102,92
Açúcar	PLANALTO-SP	58,43
Soja	SAO PAULO-SP	19,55
Soja	GUARUJÁ-SP	14,7
Soja	SANTOS-SP	13,93
Soja	SORRISO-MT	156,6
Soja	NOVA MUTUM-MT	149,84
Soja	CUIABÁ-MT	137,79
Soja	ORINDIÚVA-SP	59,15
Soja	RIO VERDE-GO	115,68
Soja	PRIMAVERA DO LESTE-MT	153,1
Soja	LUCAS DO RIO VERDE-MT	151,2
Soja	DIAMANTINO-MT	169,2
Soja	CAMPO NOVO DO PARECIS-MT	157,21
Soja	QUERÊNCIA-MT	135
Soja	RONDONOPOLIS-MT	120,77
Soja	ITUMBIARA-GO	101,5
Soja	TAPURAH-MT	158,36
Soja	CHAPADÃO DO SUL-MS	125,88
Soja	SANTA JULIANA-MG	94,33
Soja	SINOP-MT	167,4
Soja	LONDRINA-PR	60,36
Soja	ÁGUA BOA-MT	134,84
Soja	PONTES GESTAL-SP	61,14
Soja	CANARANA-MT	139,43
Soja	ITUIQUIRA-MT	114,02
Soja	SAPEZAL-MT	167,4
Soja	NOVA UBIRATÁ-MT	154,07

APÊNCIE C

Tabela com os parâmetros de custo de transporte da origem a um terminal rodoferroviário

	Guará - SP	Ituverava - SP	Itirapina - SP	Votuporanga - SP	Fernandópolis - SP	Pradópolis - SP	Mogi-Guaçu - SP	São José do Rio Preto - SP	Santa Adélia - SP	Ribeirão Preto - SP	Jaú - SP	Araraquara - SP	São Joaquim da Barra - MG	Araguari - MG	Rondonópolis - MT	Alto Araguaia - MT	Costa Rica - MS	Chapadão do Sul - MS	Itiquira - MT	Uberlândia - MG	Anápolis - GO
SÃO PAULO-SP	74	75,37	44,5	88,03	91,51	60,55	32,77	79,59	71,24	59,34	59,17	54,85	71,24	97,53	171,8	149,96	135,3	128,12	163,04	94,15	135,3
SANTOS-SP	82,12	83,5	60,72	96,16	99,74	75,16	46,06	87,72	80,44	72,79	70,72	66,93	79,7	104,91	179,08	157,35	142,47	135,4	170,32	101,43	142,68
GUAIARA-SP	17,2	16,61	51,23	41,4	47,26	32,6	58,13	27,08	30,53	25	50,71	40	16,82	45,19	138,78	117,04	101,22	94,15	130,02	39,5	93,2
SEBASTIANÓPOLIS DO SUL-SP	49,33	51,06	58,82	10,93	17,89	47,78	76,22	17,64	31,39	52,61	58,13	46,23	48,99	73,48	119,89	98,05	83,28	76,22	111,03	66,93	100,16
PRADÓPOLIS-SP	26,56	28,81	26,22	49,51	55,37	5	38,81	35,71	23,8	11,33	30,53	18,04	23,98	65,03	147,43	125,7	106,18	99,11	138,57	59,34	101,85
DELTA-MG	14,76	13,11	53,13	59,86	65,72	36,05	61,93	45,54	44,5	30,19	57,27	44,85	18,16	35,02	133,4	111,66	103,22	96,16	124,64	29,15	87,82
MORRO AGUDO-SP	14,73	16,94	40,02	47,95	53,82	23,11	48,99	34,15	24,32	17,13	44,33	31,91	12,06	53,3	144,58	122,85	105,23	98,16	135,82	47,44	99
SANTA CRUZ DAS PALMEIRAS-SP	39,16	41,4	20,37	68,65	74,32	25,7	20,54	54,85	42,95	24,49	35,36	26,56	36,57	76,32	159,56	137,83	117,89	110,82	150,8	71,93	113,98
QUIRINÓPOLIS-GO	83,28	82,33	101,43	63,82	74,32	90,04	112,19	80,65	88,98	92,67	101,11	93,83	85,39	53,3	95,1	72,97	65,38	53,82	86,24	56,23	65,89
CLEMENTINA-SP	61,75	63,48	62,27	30,88	35,71	55,72	79,59	30,88	43,99	60,55	47,44	54,34	61,41	81,39	124,96	103,22	88,35	81,28	116,2	77,27	107,76
AMÉRICO BRASILIENSE-SP	33,81	36,05	20,68	50,89	56,75	16,54	39,5	37,09	25,18	19,09	20,54	8,09	31,22	72,28	143,63	121,79	107,02	99,95	134,77	66,58	107,23
ITURAMA-MG	59,34	58,3	77,9	25,18	19,66	69,34	89,4	39,33	53,13	64,34	77,59	67,96	58,99	53,82	107,55	85,82	69,17	57,44	98,79	47,09	88,03
PIRAJUBA-MG	35,71	33,98	57,44	42,43	48,3	38,64	71,76	30,36	36,57	39,33	56,75	44,85	38,98	45,19	124,96	103,22	89,3	82,23	116,09	39,5	79,28
VISTA ALEGRE DO ALTO-SP	32,43	34,67	35,02	36,57	42,26	17,3	53,65	22,77	9,54	22,13	34,33	22,42	27,94	67,79	134,87	113,04	98,27	91,2	126,01	62,1	99
BOCAINA-SP	45,54	47,78	22,6	58,13	64	28,29	43,47	44,33	32,6	30,88	9,76	16,09	42,78	80,12	148,06	126,22	111,45	104,38	139,2	76,64	111,77
JOÃO PINHEIRO-MG	82,33	81,39	105,76	106,39	105,54	95,42	111,24	97,63	100,48	91,72	108,39	100,8	84,44	67,96	159,03	137,3	133,08	126,01	150,17	68,31	77,48
SERTÃOZINHO-SP	21,13	23,29	30,88	51,4	57,27	10,71	41,23	37,6	25,7	8,74	35,19	22,6	18,46	59,68	145,53	123,8	107,34	100,27	136,67	53,82	99,95
UBERABA-MG	19,51	17,87	57,79	57,96	63,82	40,88	66,76	43,64	49,16	40	62,1	49,68	22,94	29,32	130,02	108,29	100,27	93,2	121,16	23,63	84,44
NOVA EUROPA-SP	43,47	45,54	25,7	45,54	51,4	22,94	44,5	31,74	19,9	28,63	19,58	13,16	40,71	78,85	140,36	118,52	103,75	96,68	131,5	75,37	107,13
CARNEIRINHO-MG	68,48	67,45	81,91	31,74	26,22	75,16	93,41	45,88	59,51	78,11	81,49	74,32	68,14	62,96	101,96	80,12	59,86	48,3	93,1	56,23	93,62
MIRANTE DO PARANAPANEMA-SP	86,66	87,61	83,92	64,17	66,07	82,86	96,68	63,65	75,69	85,92	74,74	82,02	86,45	101,43	132,87	113,14	98,37	91,3	129,39	97,32	127,81
CATANDUVA-SP	35,53	37,78	37,6	28,81	34,67	26,56	56,23	14,97	10,16	31,39	36,91	25,01	31,05	70,9	130,13	108,29	93,52	86,45	121,26	65,2	98,05
PROMISSÃO-SP	64,51	56,58	51,92	36,05	40,88	45,37	72,79	23,98	36,91	50,2	37,09	43,99	61,93	77,17	129,07	107,23	92,46	85,39	120,21	72,45	103,54
CAMPO FLORIDO-MG	31,05	29,5	69,52	46,92	52,61	52,44	76,64	36,74	40,19	46,57	60,2	61,24	34,5	40,71	124,64	102,91	95,94	88,88	115,78	35,02	79,06
PARAÍSO-SP	32,08	34,33	40,88	33,29	39,16	21,8	59,51	19,54	11,09	25,87	40,19	28,29	27,6	65,72	132,87	111,14	96,26	89,19	124,11	60,03	96,79
MENDONÇA-SP	45,02	46,75	49,16	27,94	33,81	38,12	67,96	14,09	25,7	42,95	35,19	36,74	44,68	69,17	129,6	107,76	92,99	85,92	120,74	62,62	97,53
ARIRANHA-SP	33,81	36,05	36,05	32,95	38,81	20,51	54,85	19,13	6,38	25,36	35,36	23,46	29,32	69	132,66	110,82	96,05	88,98	123,8	63,31	99,74
TANABI-SP	44,16	45,88	53,65	12,4	18,21	42,61	72,45	12,5	23	47,44	52,96	41,05	43,81	64	120,1	98,27	83,5	76,43	111,24	57,27	94,26
SANTA JULIANA-MG	36,57	34,84	74,53	75,16	78,64	57,96	79,91	61,41	66,24	51,92	77,06	66,58	39,85	29,67	130,23	108,5	105,97	98,9	121,37	24,15	84,66

PLANALTO-SP	50,2	51,75	59,68	23,29	25,18	48,64	76,74	19,23	32,26	53,47	49,85	47,09	49,85	74,21	124,32	102,49	87,72	80,65	115,46	67,79	100,59
SAO PAULO-SP	44,69	45,62	31,39	54,16	56,51	38,69	26,31	48,54	43,46	38,16	38,08	36,16	43,46	60,57	115,54	98,9	87,64	82,26	109	58,22	87,72
GUARUJÁ-SP	50,67	51,6	37,92	60,14	62,56	45,12	32,77	54,45	49,53	44,62	44,54	42,62	49,6	66,55	122,3	105,65	94,4	89,01	116	64,2	94,48
SANTOS-SP	49,68	50,6	38,77	59,15	61,5	44,08	31,62	53,38	48,54	43,62	43,23	41,54	48,54	65,55	121,09	104,53	93,27	88,53	114,42	63,2	93,35
SORRISO-MT	139,68	139,18	143,86	122,06	119,48	142,87	153,28	128,65	135,08	144,11	142,82	140,28	140,68	124,2	57,74	87,76	87,32	91,66	69,33	124,2	100,99
NOVA MUTUM-MT	128,41	127,68	135,24	109,51	106,86	133,55	145,51	116,03	122,46	135,56	133,47	129,37	130,01	111,68	73	80,89	74,78	78,8	58,22	113,05	108,47
CUIABÁ-MT	108,95	108,23	115,78	90,06	87,4	114,1	130,98	96,57	103	116,11	114,02	109,91	110,56	92,23	30,62	46,12	57,37	61,14	40,69	93,59	89,01
ORINDIÚVA-SP	30,08	30,85	39,08	22,93	25,39	30	44,76	20,75	26,85	30,31	38,77	33,46	29,93	36,16	86,92	70,68	56,23	51,46	80,25	33,16	54,59
RIO VERDE-GO	54,94	54,23	67,19	48,18	45,83	59,5	74,54	53,09	58,72	61,28	66,91	61,99	56,3	49,47	51,03	35,69	42,31	37,39	45,05	38,5	40,83
PRIMAVERA DO LESTE-MT	101,39	100,59	108,23	82,5	79,85	106,54	123,34	102,6	95,44	108,55	106,46	102,36	103	86,4	22,68	49,43	50,67	54,45	33,93	86,4	64,56
LUCAS DO RIO VERDE-MT	135,8	135,08	140,68	116,91	114,26	139,63	150,09	126,36	129,85	140,88	139,58	136,77	137,41	120,35	55	69,57	82,18	86,44	64,77	118,8	115,78
DIAMANTINO-MT	123,74	122,94	130,5	104,77	102,2	128,89	142,57	111,36	117,79	130,9	128,81	124,71	125,35	108	44,28	58,1	70,4	74,38	54,02	108	103,72
CAMPO NOVO DO PARECIS-MT	139,28	138,78	143,47	121,41	118,84	142,47	152,88	127,92	134,36	143,72	142,42	139,88	140,23	123,58	59,43	72	86,68	90,94	68,76	125,03	120,37
QUERÊNCIA-MT	113,37	112,65	127,2	103	100,35	118,52	135,4	109,51	115,94	120,53	126,96	121,41	114,98	94,48	62,71	65,27	76,95	81,21	71,82	98,02	71,46
RONDONÓPOLIS-MT	91,74	91,02	98,58	72,89	70,61	96,89	113,77	79,36	85,79	98,98	96,81	92,71	93,35	75,02	13,93	29,85	41,92	45,9	24,24	76,39	71,96
ITUMBIARA-GO	40,15	39,46	52,81	43,62	41,31	45,05	60	38,23	44,31	46,9	52,52	47,61	41,69	24,16	65,62	50,96	51,95	47,18	59,64	25,47	34,08
TAPURAH-MT	140,38	139,88	144,61	123,26	120,61	143,57	153,97	129,77	136,21	144,81	143,52	140,98	141,37	125,43	61	75,83	88,53	92,79	70,32	126,8	122,14
CHAPADÃO DO SUL-MS	62,06	62,71	65,98	43,08	40,54	61,42	73,73	48,96	54,66	63,42	64,41	60,78	61,92	56,01	45,97	30,23	19,41	13,93	39,69	53,52	58,65
SANTA JULIANA-MG	28	27,24	45,05	45,48	47,82	37,54	48,68	39,08	41,23	34,85	46,76	41,39	29,47	24,93	83,87	67,97	66,27	61,5	77,11	22,47	51,88
SINOP-MT	143,76	143,27	147,95	128,65	126,08	146,95	157,36	135,24	140,08	148,2	146,9	144,36	144,76	144,8	66,96	90,38	93,92	98,26	75,42	129,6	107,58
LONDRIANA-PR	55,51	56,44	46,04	46,76	48,75	47,68	54,66	43,77	44,38	49,68	39,54	45,19	54,45	71,46	97,77	82,82	71,68	66,91	95,12	69,04	85,88
ÁGUA BOA-MT	98,82	98,02	112,65	86,92	84,27	103,97	120,77	93,43	99,86	105,98	112,33	106,78	100,35	83,46	53,52	51,1	62,28	66,05	57,58	83,46	61,71
PONTES GESTAL-SP	34,77	35,46	41,23	17,83	20,43	36,31	49,25	22,85	29	34,93	40,92	35,62	34,62	40,77	76,79	61,64	51,67	46,9	70,4	37,85	58,86
CANARANA-MT	104,61	103,8	118,44	94,16	91,58	109,75	126,56	100,67	107,1	111,76	118,12	112,57	106,22	134,75	54,66	57,51	68,69	72,46	64,06	89,25	63,63
ITIQUIRA-MT	84,99	84,27	91,82	66,91	64,56	90,14	107,02	72,67	79,04	92,15	90,06	85,96	86,6	68,83	24,16	23,31	35,46	39,54	13,93	70,04	65,98
SAPEZAL-MT	143,17	142,67	147,35	127,68	125,11	146,3	156,76	134,2	139,43	147,6	146,25	143,72	144,11	145	66,96	83,43	92,95	97,21	74,46	135	126,64
NOVA UBIRATÁ-MT	135,24	134,52	140,33	116,35	113,69	139,28	149,74	122,86	129,29	140,53	139,23	136,21	136,85	118,52	55,37	69,4	81,61	85,88	64,77	119,88	94,08

APÊNCIE D

Tabela com os parâmetros de custo de transporte da origem ao porto de Santos

		SANTOS T - SP
Açúcar	Guará - SP	65,4294118
Açúcar	Ituverava - SP	66,2715718
Açúcar	Itirapina - SP	66,31942715
Açúcar	Votuporanga - SP	116,0762381
Açúcar	Fernandópolis - SP	120,8660792
Açúcar	Pradópolis - SP	85,4340815
Açúcar	Mogi-Guaçu - SP	41,360245
Açúcar	São José do Rio Preto - SP	102,6127777
Açúcar	Santa Adélia - SP	91,61879795
Açúcar	Ribeirão Preto - SP	58,6810966
Açúcar	Jaú - SP	79,538351
Açúcar	Araraquara - SP	76,66843505
Açúcar	São Joaquim da Barra - MG	64,398274
Açúcar	Araguari - MG	84,5292376
Soja	Araguari - MG	73,9126568
Soja	Rondonópolis - MT	139,8965604
Soja	Alto Araguaia - MT	122,0509284
Soja	Costa Rica - MS	114,9122017
Soja	Chapadão do Sul - MS	106,7561423
Soja	Itiquira - MT	130,4405423
Soja	Uberlândia - MG	71,0306138
Soja	Anápolis - GO	92,670006

APÊNCIE E

Tabela com os parâmetros de volume exportado por município em 2014

Açúcar	SÃO PAULO-SP	3,27
Açúcar	SANTOS-SP	2,65
Açúcar	GUÁIRA-SP	0,99
Açúcar	SEBASTIANÓPOLIS DO SUL-SP	0,68
Açúcar	PRADÓPOLIS-SP	0,68
Açúcar	DELTA-MG	0,48
Açúcar	MORRO AGUDO-SP	0,39
Açúcar	SANTA CRUZ DAS PALMEIRAS-SP	0,38
Açúcar	QUIRINÓPOLIS-GO	0,37
Açúcar	CLEMENTINA-SP	0,34
Açúcar	AMÉRICO BRASILIENSE-SP	0,29
Açúcar	ITURAMA-MG	0,26
Açúcar	PIRAJUBA-MG	0,23
Açúcar	VISTA ALEGRE DO ALTO-SP	0,22
Açúcar	BOCAINA-SP	0,22
Açúcar	JOÃO PINHEIRO-MG	0,20
Açúcar	SERTÃOZINHO-SP	0,20
Açúcar	UBERABA-MG	0,19
Açúcar	NOVA EUROPA-SP	0,19
Açúcar	CARNEIRINHO-MG	0,18
Açúcar	MIRANTE DO PARANAPANEMA-SP	0,18
Açúcar	CATANDUVA-SP	0,18
Açúcar	PROMISSÃO-SP	0,18
Açúcar	CAMPO FLORIDO-MG	0,17
Açúcar	PARAÍSO-SP	0,17
Açúcar	MENDONÇA-SP	0,16
Açúcar	ARIRANHA-SP	0,16
Açúcar	TANABI-SP	0,14
Açúcar	SANTA JULIANA-MG	0,14
Açúcar	PLANALTO-SP	0,14
Soja	SAO PAULO-SP	1,74
Soja	GUARUJÁ-SP	1,25
Soja	SANTOS-SP	1,10
Soja	SORRISO-MT	0,72
Soja	NOVA MUTUM-MT	0,55
Soja	CUIABÁ-MT	0,50
Soja	ORINDIUVÁ-SP	0,49
Soja	RIO VERDE-GO	0,43
Soja	PRIMAVERA DO LESTE-MT	0,29
Soja	LUCAS DO RIO VERDE-MT	0,28
Soja	DIAMANTINO-MT	0,27
Soja	CAMPO NOVO DO PARECIS-MT	0,26
Soja	QUERÊNCIA-MT	0,23
Soja	RONDONÓPOLIS-MT	0,23
Soja	ITUMBIARA-GO	0,19
Soja	TAPURAH-MT	0,19
Soja	CHAPADÃO DO SUL-MS	0,18
Soja	SANTA JULIANA-MG	0,17
Soja	SINOP-MT	0,16
Soja	LONDRINA-PR	0,16
Soja	ÁGUA BOA-MT	0,15
Soja	PONTES GESTAL-SP	0,15
Soja	CANARANA-MT	0,13
Soja	ITIQUIRA-MT	0,12
Soja	SAPEZAL-MT	0,12
Soja	NOVA UBIRATÁ-MT	0,11