SAMUEL DA SILVA NETO

Impactos de Investimentos em Infraestrutura Logística na Cadeia de Grãos no Brasil:
Uma Aplicação de Programação Linear

São Paulo

2018

SAMUEL DA SILVA NETO

Impactos de Investimentos em Infraestrutura Logística na Cadeia de Grãos no Brasil:
Uma Aplicação de Programação Linear

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Ciências

São Paulo

2018

SAMUEL DA SILVA NETO

Impactos de Investimentos em Infraestrutura Logística na Cadeia de Grãos no Brasil:
Uma Aplicação de Programação Linear

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Ciências

Área de concentração:

Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador:

Prof. Dr. José Vicente Caixeta-Filho

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Silva Neto, Samuel

Impactos de Investimentos em Infraestrutura Logística na Cadeia de Grãos no Brasil: Uma Aplicação de Programação Linear / S. Silva Neto -- versão corr. -- São Paulo, 2018.

112 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Soja e milho 2.Otimização 3.Investimento 4.Custo logístico 5.Exportação
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

**Ao Dedé, meu filho, que
ilumina minha jornada e
provem a minha alegria.**

Agradecimentos

Na figura de José Vicente Caixeta Filho, meu orientador e amigo, eu agradeço a todos os professores que eu tive durante a minha vida, desde os primórdios até os dias de hoje. Visto que a profissão de professor é sem duvida a mais importante em nossa sociedade e deveria ser muito mais valorizada, afinal, através dela, é cedido o bem mais precioso de uma pessoa, o conhecimento.

Agradeço aos meus pais por todo o incentivo e principalmente pelo amor dispendido em todas as etapas da minha vida. Meu muito obrigado Samuel da Silva Junior e Débora Dávila da Silva.

Na figura exemplar de Beatriz Dávila da Silva, minha irmã, eu expresso minha gratidão a todos meus familiares, o carinho e confiança no meu potencial por parte deles é inigualável, e fundamental na construção de meus objetivos.

Agradeço a todos os amigos que eu fiz nos sete anos no Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (EASLQ-LOG), cada um contribuiu um pouco para minha evolução, são muitos, mas destaco alguns aqui: Fernando Rocha, Marina Granato, Thiago Péra, Mariela Grisotto, Fernando Bastiani, Claudirene, Priscila Biancareli, Leo Carlim, Loide, entre outras figuras que me ensinaram muito e tiveram muita paciência comigo.

Agradeço aos professores, Luciano Rodrigues e Catarina Careta, afinal, suas contribuições agregaram e muito a qualidade do presente estudo.

Agradeço a todos os 134 pesquisadores de graduação que direta ou indiretamente eu treinei, tutoriei e orientei ao longo de mais de seis anos de pesquisa em logística, afinal, a concretização do ciclo de aprendizagem está no momento em que se ensina, com paciência e disposição.

Resumo

A efetivação de investimentos em capacidade portuária, capacidade intermodal e qualidade das vias de acesso aos portos é de fundamental importância para o progresso da logística, principalmente quando se avalia o escoamento de grãos, mais especificamente soja e milho, produtos que além de apresentar uma gradiosa escala de produção, também apresentam características continentais de produção, ou seja, são produzidas em todas as regiões geográficas do Brasil. Neste sentido, o presente trabalho propõe uma modelagem matemática, no âmbito da programação linear, que possa ser utilizada para avaliar os potenciais ganhos oriundos de investimentos na cadeia logística de soja e milho com destino à exportação, tal modelo abrange o transporte interno, sendo ele rodoviário e intermodal, os custos portuários e o frete marítimo internacional. De modo a aplicar o modelo desenvolvido, foram avaliados 10 distintos cenários, os quais contemplam isolada ou concomitantemente ampliação de capacidade portuária, ampliação de capacidade intermodal, construção e operação comercial de novas ferrovias e pavimentação e duplicação de vias de acesso a portos e terminais. Desta forma, o cenário que apresentou melhores resultados financeiros no que tange à redução de custos logísticos para a exportação de soja e milho no Brasil em 2017 foi o cenário que propunha: 1) aumento da capacidade de exportação do Arco-Norte em 100%; 2) implantação da ferrovia “Ferrogrão” e 3) duplicação e pavimentação da BR-163 até Miritituba (PA). O cenário destacado apresentou potencial redução nos custos logísticos totais para exportação de soja e milho na ordem de 1,2 bilhões de reais apenas para o ano de 2017.

Palavras-chave: Grãos, exportação, logística, investimento e custos.

Abstract

Investments in port capacity, intermodal capacity and quality of access routes to ports have fundamental importance for the progress of logistics, especially when assessing the flow of grains, more specifically soybean and corn, products that besides presenting a gradient production scale, also present continental characteristics of production, that is, they are produced in all geographical regions of Brazil. Considering that, the present work proposes a mathematical modeling, in the scope of linear programming, that can be used to evaluate the potential gains from investments in the logistic chain of soybean and corn destined to the export, such model covers the internal transportation, being it road and intermodal transport, port costs and international maritime freight. In order to apply the developed model, 10 different scenarios were evaluated, which include isolated or concomitant expansion of port capacity, expansion of intermodal capacity, construction and commercial operation of new railways and paving and duplication of access roads to ports and terminals. Thus, the scenario that presented the best financial results regarding the reduction of logistical costs for the export of soybeans and corn in Brazil in 2017 was the scenario that proposed: 1) increase of Arc-North's export capacity by 100%; 2) implantation of the railroad "Ferrogrão" and 3) duplication and paving of BR-163 to Miritituba (PA). The highlighted scenario presented a potential reduction in the total logistical costs for exporting soybean and corn in the order of 1.2 billion reais only for the year 2017.

Keywords: Grain, export, logistics, investment and costs.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1.	Objetivos	18
1.2.	Justificativas da Pesquisa	19
2.	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1.	Aspectos produtivos e comerciais da soja, milho e farelo de soja...	21
2.2.	A Logística Como Fator de Competitividade	28
2.3.	Cadeia Logística dos Grãos	30
2.3.1.	Transporte Interno	32
2.3.1.1.	Transporte Rodoviário	33
2.3.1.2.	Transporte Intermodal	34
2.3.2.	Portos Exportadores e Mercados Consumidores	39
2.4.	Investimentos Logísticos Previstos.....	41
3	MATERIAL E MÉTODO	45
3.1.	Dados Utilizados.....	46
3.1.1.	Demanda.....	46
3.1.2.	Oferta	46
3.1.3.	Dados Portuários.....	47
3.1.4.	Dados Rodoviários	48
3.1.5.	Dados Intermodais	60
3.2.	Modelo de Transporte	60
3.3.	Cenários Analisados.....	64
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1.	Resultados Gerais.....	67
4.2.	Resultados Específicos	73
4.2.1.	Fobagem	73
4.2.2.	Utilização da Intermodalidade	92

4.1.1.	Portos Exportadores	95
4.1.2.	Transporte Marítimo.....	98
5.	Considerações Finais	101
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
APÊNDICE		109
Modelo matemático utilizado na plataforma GAMS		109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da produção de soja e milho no Brasil entre 2006 e 2016	22
Figura 2. Produção estadual de soja e milho no ano de 2016.....	24
Figura 3. Distribuição municipal da produção de soja e localização das unidades esmagadoras de soja no Brasil	25
Figura 4. Distribuição municipal da produção de milho no Brasil	28
Figura 5. Representação da cadeia logística da soja e do farelo de soja.....	31
Figura 6. Representação da cadeia logística do milho	32
Figura 7. Transporte rodoviário de grãos	33
Figura 8. Solução logística intermodal.....	34
Figura 9. Localização das unidades de transbordo, malhas ferroviárias e portos exportadores	36
Figura 10. Evolução das exportações de soja e milho no Arco - Norte entre 2013 e 2015	40
Figura 11. Mapeamento do projeto da Ferrogrão	43
Figura 12. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017.....	49
Figura 13. Dispersão de fretes de soja, milho e farelo de soja no ano de 2017 para os portos do Sul e Sudeste do Brasil	51
Figura 14. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os portos do Norte e Nordeste do Brasil.....	53
Figura 15. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os terminais de transbordo rodoferroviários do Brasil	55
Figura 16. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os terminais de transbordo rodoferroviários do Brasil	56
Figura 17. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os terminais de transbordo rodo-hidroviários do Brasil.....	58
Figura 18. Rondonópolis, Sinop e Itaituba na BR-163.....	66
Figura 19. Economia potencial por cenário avaliado	69
Figura 20. Representatividade dos custos das operações logísticas dentro do custo logístico total	72
Figura 21. Fobagem para os principais estados produtores nos cenários 1, 4 e 10.....	74
Figura 22. Fobagem para os demais estados produtores nos cenários 1, 4 e 10	77

Figura 23. Economia do estado do Mato Grosso nos custos de fobagem e sua representatividade	77
Figura 24. Custo da fobagem ponderada por estado para o cenário 1	79
Figura 25. Custo da fobagem por tonelada para os estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul	81
Figura 26. Frete ponderado por município no cenário 1	82
Figura 27. Frete ponderado por município no cenário 2	83
Figura 28. Frete ponderado por município no cenário 3	84
Figura 29. Frete ponderado por município no cenário 4	85
Figura 30. Frete ponderado por município no cenário 5	86
Figura 31. Frete ponderado por município no cenário 6	87
Figura 32. Frete ponderado por município no cenário 7	88
Figura 33. Frete ponderado por município no cenário 8	89
Figura 34. Frete ponderado por município no cenário 9	90
Figura 35. Frete ponderado por município no cenário 10	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização e descrição das unidades esmagadoras de soja e capacidade estadual de processamento do produto no Brasil no ano de 2016 (continua)	26
Tabela 2. Localização e descrição das unidades esmagadoras de soja e capacidade estadual de processamento do produto no Brasil no ano de 2015 (conclusão)	27
Tabela 3. Exportação de soja e milho por porto no ano de 2017	39
Tabela 4. Importação de soja e milho do Brasil por país demandante em 2017	41
Tabela 5. Capacidade portuária, tarifa de elevação e fretes marítimos por porto e por destino no ano de 2017	48
Tabela 6. Curvas de fretes por corredor logístico rodoviário e suas aplicações	59
Tabela 7. Dados de terminais, porto de destino, frete hidroviário, frete ferroviário e escoamento efetivo	60
Tabela 8. Custo total por operação logística	70
Tabela 9. Custo para cada tonelada exportada por operação logística	72
Tabela 10. Fobagem por estado produtor e cenário avaliado	76
Tabela 11. Economia por estado e cenário avaliado	78
Tabela 12. Fobagem média ponderada por tonelada, estado e cenário	80
Tabela 13. Volume escoado por terminal de transbordo e cenário	93
Tabela 14. Distância máxima de captação dos terminais intermodais de transbordo por cenário	94
Tabela 15. Volume exportado por porto e cenário	96
Tabela 16. Distância máxima de captação rodoviária por porto e cenário	98
Tabela 17. Fluxo marítimo por cenário, porto de origem e mercado consumido ...	100

1. INTRODUÇÃO

Das terras roxas do Sul e Sudeste, aos extensos cerrados do Centro-Oeste, Norte e Nordeste, o Brasil se destaca como protagonista no cenário produtivo mundial de grãos. Tal contexto foi possível devido aos investimentos em adaptações genéticas das culturas e equipamentos, além das privilegiadas características naturais do país continental. Entretanto, esses diferenciais se efetivam de maneira mais pronunciada apenas dentro das porteiras das fazendas.

Atualmente, a milenar agricultura está inclusa dentro do amplo setor denominado agronegócio, o qual agrega não só o caráter produtivo, mas também os aspectos comerciais, industriais, logísticos, entre outros fatores que estão dentro do sistema agroindustrial da soja e do milho por exemplo.

Neste contexto, a logística há muito deixou de ser considerada apenas como um simples custo pertinente à cadeia do agronegócio, mas passou a ser reconhecida pelos agentes atuantes em tal setor como um fator estratégico e determinante da competitividade dos produtores frente ao mercado mundial de produtos agrícolas. Afinal, a redução dos custos logísticos acarreta margens de ganhos maiores para os produtores, os quais, por sua vez, potencialmente teriam não só melhor acesso ao mercado nacional e internacional, mas também uma maior capacidade de investir em avanços tecnológicos em prol do aumento produtivo, o que, diga-se de passagem, é fundamental para garantir o aumento da oferta de alimentos frente ao crescimento contínuo da população mundial e à problemática ligada à segurança alimentar.

A evolução da competitividade logística do setor produtivo de grãos no Brasil pode ser alcançada por meio de dois principais pilares, sendo o primeiro deles o planejamento, ou seja, alocar os recursos já existentes da melhor forma possível de modo a atender a demanda por meio de um dispêndio financeiro mínimo. Entretanto, diante do histórico e potencial incremento na produção brasileira, faz-se necessário o segundo, mas não menos importante pilar, caracterizado pelo investimento em infraestrutura logística.

Neste contexto, esta dissertação tem como objetivo estruturar um modelo matemático de minimização dos custos logísticos de grãos no Brasil e, por meio desse modelo,

simular os impactos de potenciais investimentos públicos e privados em infraestrutura sobre os gastos com logística para o escoamento das safras brasileiras

1.1. Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação é comparar distintos cenários que consideram potenciais investimentos e ampliações da capacidade logística atual de exportação de soja e milho no Brasil. Para tal, foi elaborado um modelo de programação linear que contempla a minimização dos custos com transporte rodoviário, ferroviário, hidroviário e marítimo, além dos custos portuários e tarifas de transbordo. Como incremento na infraestrutura, foram analisados de forma isolado e agregada os seguintes potenciais investimentos:

- i) Ampliação da capacidade portuária do Arco Norte.
- ii) Ampliação da capacidade de transporte intermodal, ou seja, aumento da capacidade de transporte dos modais ferroviário e hidroviário.
- iii) Construção e utilização em escala comercial da denominada “Ferrovia dos Grãos”, a qual pretende interligar as principais regiões produtoras do Mato Grosso (através de Lucas do Rio Verde) ao terminal multimodal de Itaituba – PA.
- iv) Pavimentação e duplicação completa da BR-163 no norte do Mato Grosso e Pará.

Além do objetivo principal, a dissertação aqui apresentada tem como objetivos secundários:

- Enquadrar a logística de grãos no Brasil como critério de competitividade do setor produtor brasileiro frente ao mercado internacional.
- Caracterizar a cadeia logística da soja e milho das fazendas até o país de destino no mercado externo.
- Levantar e analisar os custos rodoviários, ferroviários, marítimos e portuários que incidem sobre a composição logística dos grãos no Brasil.
- Mapear as infraestruturas e fluxos disponíveis ao transporte dos produtos analisados.

1.2. Justificativas da Pesquisa

Apesar da relevância do assunto, não existem estudos similares disponíveis na literatura especializada sobre o tema. Visto que o presente trabalho aborda a cadeia logística da soja e do milho dos municípios produtores até o desembarque nos países demandantes no mercado externo. Por incluir transporte rodoviário, transporte ferroviário, transporte marítimo, capacidade de transbordo intermodal, capacidade portuária, o estudo oferece ferramentas para auxiliar a tomada de decisão em vários elos da cadeia logística.

Assim, o trabalho proposto se justifica por oferecer indicações inéditas e fundamentais para o melhor planejamento público e privado na definição dos investimentos em infraestrutura logística no país, particularmente aquela destinada ao escoamento da safra de milho e soja.

De modo a cumprir a temática proposta, o presente trabalho se divide em cinco principais capítulos, sendo eles:

Capítulo 1. O primeiro capítulo diz respeito à “Introdução”, a qual, além de contextualizar o tema proposto, também delimitou os objetivos principais e secundários da dissertação, as justificativas no âmbito da temática e apresentou de forma genérica a organização do trabalho.

Capítulo 2. O segundo capítulo apresenta a “Revisão de Literatura”, a qual tem três principais objetivos, sendo eles: 1) contextualizar o tema abordado, desde aspectos produtivos dos produtos analisados até aspectos comerciais e logísticos; 2) justificar a importância de se estudar logística dentro do aspecto de competitividade do setor produtivo agrícola brasileiro e; 3) levantar dados que serão utilizados na metodologia proposta, visando assim a utilização dos melhores dados disponíveis em vista do objetivo traçado.

Capítulo 3. O terceiro capítulo é denominado “Material e Método”, o qual apresenta o modelo proposto pelo estudo, além da especificação dos dados que serão utilizados. Além disso, o capítulo é finalizado com a orientação para a análise e compreensão dos resultados, principalmente no que tange aos cenários analisados e ao formato de apresentação dos mesmos.

Capítulo 4. Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões em torno deles, de modo a facilitar o entendimento, o capítulo foi dividido em dois principais tópicos, sendo eles: 1) resultados gerais, o qual apresenta um macro-comparativo entre os cenários avaliados, em suma, compara-se o dispêndio financeiro geral na operação de transporte, custos portuários e transporte marítimo e 2) resultados específicos, o qual aborda de forma desagregada – tanto por operação, quanto geograficamente – o comparativo entre cenários para o custo com fobagem, utilização da intermodalidade, utilização dos portos e transporte marítimo.

Capítulo 5. Por fim, o último capítulo traz as considerações finais da presente pesquisa, principais conclusões, pontos de limitação da mesma e consequentes sugestões para próximos trabalhos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo irá abordar, por meio de uma pesquisa na literatura disponível, os aspectos produtivos, comerciais e logísticos referentes à cadeia agroindustrial da soja e milho no Brasil. Vale destacar que o presente estudo apresentou 47 citações, sendo que 25 delas são provenientes de periódicos todos eles brasileiros, visto que, por se tratar de uma temática até então interna ao mercado exportador brasileiro, existe pouca literatura disponível sobre o tema em periódicos internacionais. Além disso, também será apresentada parte dos dados que serão utilizados e analisados de forma mais específica no capítulo subsequente.

2.1. Aspectos produtivos e comerciais da soja, milho e farelo de soja

O representativo aumento produtivo mundial de soja nas últimas décadas se deve a cinco fatores, segundo Hirakuri e Lazzarotto (2011): 1) produto importante no que tange à alimentação humana e animal, dado que apresenta um teor de proteína significativamente elevado, em torno de 40% de sua composição; 2) potencial de produção de derivados pela extração de seu óleo, principalmente para alimentação humana e produção de biodiesel, haja vista que a oleaginosa apresenta aproximadamente 20% de óleo em sua composição; 3) a soja é caracterizada como uma *commodity*, ou seja, entre outras características, é padronizada e uniforme, podendo ser produzida e comercializada por uma diversidade de produtores no mundo; 4) o produto apresenta liquidez e alta demanda no mercado mundial e 5) aumento da oferta de avanços tecnológicos no âmbito da produção de soja nos últimos anos.

Neste contexto, o Brasil representou, no ano de 2015, aproximadamente 40% das exportações mundiais de soja segundo dados da USDA (2016). Tal cenário é explicado, segundo Cunha e Espíndola (2015) por três fatores fundamentais diretamente ligados às características da produção brasileira da *commodity*: 1) aumento da demanda por soja destinada à alimentação animal; 2) a criação de um Sistema Nacional de Inovação e 3) as vantagens naturais do país frente aos competidores internacionais.

Não obstante aos aspectos produtivos da soja, o milho vem se destacando no que tange à produção agrícola brasileira. Basta observar que em apenas cinco anos, ou seja, entre 2010 e 2015, a produção brasileira de milho cresceu em torno de 50%, crescimento inclusive superior ao da produção de soja. O protagonismo do milho de segunda safra, ou comumente chamada de “milho safrinha”, não pode deixar de ser evidenciado neste cenário de aumento de produção; afinal, se a tal segunda safra respondia somente por cerca de 40% da produção de milho anual brasileira no ano de 2010, no ano de 2015 essa representatividade foi superior a 65% (CONAB, 2016).

Segundo Galvão et al. (2015), o milho, a partir da década de 70, tem passado por uma transição no que tange ao seu aspecto produtivo no território brasileiro, ou seja, passando de uma pequena escala produtiva, a qual fazia uso apenas de insumos nacionais, para uma escala comercial que aciona uma série de recursos externos, tais como sementes híbridas, adubos, defensivos e mecanização. Segundo os autores, essas mudanças foram fundamentais para que a produtividade brasileira aumentasse quase quatro vezes entre a década de 70 e a segunda década do século 21.

Reflexo dos ganhos competitivos dentro da porteira, a produção brasileira de soja - somada à de milho – teve um crescimento médio de aproximadamente 6% ao ano entre os anos de 2006 e 2016, tal como está apresentado na Figura 1, elaborada a partir de dados do IBGE (2018).

Figura 1. Evolução da produção de soja e milho no Brasil entre 2006 e 2016
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE (2018).

Entretanto, de acordo com Bini et al. (2015), associado aos ganhos produtivos e competitivos do agronegócio brasileiro, principalmente do ponto de vista agrícola, o aumento das exportações, o qual por sua vez é fruto do crescimento da demanda externa, é um dos fatores fundamentais para o crescimento da produção agrícola brasileira. Tanto é que no ano de 2015 as exportações de soja em grãos corresponderam a 56% da produção brasileira da *commodity*, enquanto as exportações de milho representaram 37% da produção nacional no mesmo ano (ABIOVE, 2016).

Vale destacar, portanto, que não é só o complexo soja que apresenta demanda crescente no mercado internacional. Afinal, o mercado externo para o milho tem se mostrado bastante convidativo nos últimos anos. Favro et al. (2015), por meio de estudo empírico no que tange à função de oferta de exportação de milho, concluíram que o milho tem sim potencial de crescimento de exportação e ganho de escala no mercado externo, o que os autores mostram através da aderência das variáveis utilizadas.

Do ponto de vista regional, no que tange à produção de soja e milho, o estado do Mato Grosso se destaca por ser o maior estado produtor dos dois produtos analisados. Logo em seguida, também como protagonistas, estão os estados do Sul, especificamente Paraná e Rio Grande do Sul. O volume de produção por produto e estado está apresentado na Figura 2 (fonte já está abaixo da figura).

Figura 2. Produção estadual de soja e milho no ano de 2016
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE (2018)

Os dados mais recentes e específicos encontrados no que se refere à produção de soja são do ano de 2016 e estes são apresentados por municípios. Tais dados são provenientes do “Sistema IBGE de Recuperação Automática”, mais especificamente da publicação “Levantamento Agrícola Municipal de 2016” (IBGE, 2018). Neste sentido, o mapa apresentado na Figura 3, além de tais informações, também ilustra a localização das unidades esmagadoras de soja no Brasil, sendo que a fonte de dados de tais informações é “Pesquisa de Capacidade Instalada da Indústria de Óleos Vegetais – 2016”, a qual foi produzida pela Abiove (2016).

Figura 3. Distribuição municipal da produção de soja e localização das unidades esmagadoras de soja no Brasil

Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE (2018) e Abiove (2018)

Quanto ao processamento de soja para fins de produção de óleo de soja, tendo como resíduo o farelo de soja, é notório que os estados do Mato Grosso e Paraná se destacam no âmbito de suas capacidades de esmagamento, sendo que cada um deles detem representatividade próxima a 21,5% da capacidade brasileira de esmagamento. Entretanto, é importante destacar que o Mato Grosso possui quatro unidades de esmagamento ativas contra oito unidades ativas do estado do Paraná (ABIOVE, 2018), ou seja, as unidades produtoras do Mato Grosso apresentam um volume maior de produção por unidade quando comparadas às unidades do estado do Paraná.

Neste sentido, as Tabelas 1 e 2 apresentam não só a empresa, localização e estado das unidades processadoras de soja no Brasil, mas também a participação dos estados na capacidade brasileira de esmagamento de soja.

Tabela 1. Localização e descrição das unidades esmagadoras de soja e capacidade estadual de processamento do produto no Brasil no ano de 2016 (continua)

Empresas	Localização da Unidade	UF	Capacidade de Esmagamento
Louis Dreyfus Commodities	Alto Araguaia	MT	21,76%
Cargill	Primavera do Leste	MT	
ADM	Rondonópolis	MT	
Bunge	Rondonópolis	MT	
Imcopa	Araucária	PR	21,63%
Granosul	Cambé	PR	
Imcopa	Cambé	PR	
Coamo	Campo Mourão	PR	
Diplomata	Cascavel	PR	
Cocamar	Maringá	PR	
BRF	Paranaguá	PR	16,37%
Louis Dreyfus Commodities	Ponta Grossa	PR	
Oliveira	Eldorado do Sul	RS	
Olfar	Erechim	RS	
Giovelli	Guarani das Missões	RS	
Camera	Santa Rosa	RS	
Brejeiro	Anápolis	GO	14,21%
Granol	Anápolis	GO	
Unilever Bestfood	Goiânia	GO	
Caramuru	Itumbiara	GO	
Louis Dreyfus Commodities	Jataí	GO	
Bunge	Luziânia	GO	
Cargill	Rio Verde	GO	
Comigo	Rio Verde	GO	

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Abiove (2016)

Tabela 2. Localização e descrição das unidades esmagadoras de soja e capacidade estadual de processamento do produto no Brasil no ano de 2016 (conclusão)

Empresas	Localização da Unidade	UF	Capacidade de Esmagamento
Granol	Bebedouro	SP	6,60%
Crista	Indaiatuba	SP	
Brejeiro	Orlândia	SP	
Sina	Orlândia	SP	
Clarion	Osasco	SP	
Sina	Pirapozinho	SP	
Refino de Óleos Brasil	São Caetano do Sul	SP	
Vida Alimentos	São Paulo	SP	
Bunge	São Paulo (Jaguarié)	SP	
Granol	Tupã	SP	
ADM	Uberlândia	MG	5,62%
Algar Agro	Uberlândia	MG	
Cargill	Uberlândia	MG	
Cargill	Barreiras	BA	4,14%
Bunge	Luís Eduardo Magalhães	BA	
ADM	Campo Grande	MS	
Dureino	Teresina	PI	1,73%
Bunge	Gaspar	SC	
BRF	Videira	SC	
Amaggi	Itacoatiara	AM	1,24%
Algar Agro	Porto Franco	MA	
Portal	Vilhena	RO	
			0,19%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Abiove (2016)

Na mesma situação da soja, os dados mais recentes referentes à produção de milho por município são provenientes do “Sistema IBGE de Recuperação Automática”, mais especificamente da publicação “Levantamento Agrícola Municipal de 2016” (IBGE, 2018). Os mesmos estão ilustrados na Figura 4.

Figura 4. Distribuição municipal da produção de milho no Brasil
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE (2018)

A principal conclusão que se infere dos mapas apresentados nas Figuras 3 e 4 diz respeito ao tamanho diferencial competitivo do Brasil frente ao mercado internacional de soja e milho. Entretanto, deve-se destacar que tal competitividade se dá dentro da porteira, através da vasta extensão de terras agricultáveis brasileiras, do clima tropical propício e dos avanços tecnológicos dentro da porteira. A competitividade, por outro lado, não é pertinente aos elos da cadeia além da porteira da fazenda, como será visto nas próximas seções do presente capítulo.

2.2. A Logística Como Fator de Competitividade

Segundo Oliveira, Cicolin e Santos (2015), a contribuição da cadeia produtiva da soja no que tange à geração de divisas para o Brasil no cenário mundial é indiscutível. Entretanto, segundo os autores, a soja é uma *commodity* caracterizada pelo seu baixo valor agregado; portanto, seria necessário o desenvolvimento de sistemas logísticos para possibilitar o incremento de competitividade dos produtores brasileiros frente ao mercado mundial. Já Figueiredo et al. (2015) destacam em seu estudo que, embora a

soja seja uma *commodity*, ela apresenta diferencial competitivo em relação ao preço no mercado externo (os autores concluem que há diferenças competitivas entre Brasil e Argentina). Neste sentido, segundo os autores, a busca por redução de custos, principalmente logísticos, deve ser permanente e intensa.

O grande desafio do Brasil é se aproximar dos níveis de custos logísticos das nações com as quais compete no âmbito do agronegócio. O Brasil, com seu enorme volume produtivo e suas amplas distâncias entre os polos produtores e os pontos de destino, deve investir em modais pouco explorados, como são os casos da ferrovia e da hidrovia; entretanto, também se fazem necessárias melhorias no planejamento logístico global do agronegócio brasileiro (SOUZA; MARKOSKI, 2012). Um reequilíbrio da matriz de transporte e a pavimentação e manutenção das principais rodovias que escoam as safras brasileiras são fundamentais para o aumento da competitividade do Brasil no que diz respeito à produção de soja (OLIVEIRA, CICOLIN; SANTOS, 2015).

Para Figueiredo et al. (2015), a restrição de competitividade do setor esmagador de soja brasileiro, ou seja, produtor de farelo de soja e de óleo de soja, se dá por dois principais motivos: a alta carga tributária e os entraves quanto à infraestrutura de transporte.

Segundo Reis et al. (2015), para que a logística do agronegócio seja bem estruturada e, assim, os produtores brasileiros ganhem competitividade, são necessárias a identificação e a classificação dos critérios de decisão que venham a ser utilizados pelos agentes envolvidos na cadeia, sendo que o principal deles é o dispêndio financeiro total em torno de tais operações.

O elevado custo com transporte no cenário produtivo agrícola brasileiro não somente traz impactos negativos à rentabilidade do produtor, mas também acarreta efeitos em cadeia e secundários que se distribuem por toda a sociedade. Um desses impactos é - sem dúvida - o preço dos alimentos para os consumidores finais (CASTRO, 2015).

Da Silva et al. (2015) evidenciam em seus estudos que a logística, mais especificamente o transporte de cargas agrícolas, é o protagonista no que tange aos custos de transação do transporte de grãos no Brasil. Sendo que, segundo Pondé

apud Fagundes (1997), o custo de transação diz respeito aos gastos financeiros oriundos do ato de planejar, adaptar e monitorar as interações com os agentes econômicos envolvidos no processo de contratação, de modo a garantir o cumprimento do que for acordado, ou seja, do que ambas as partes envolvidas esperam. Ou seja, não são só os custos logísticos diretos que se sobressaem dentro da cadeia produtiva de grãos, mas também os custos com planejamento e cumprimento dos termos de contrato.

Correa e Ramos (2010) destacam, em seu estudo comparativo entre Brasil, Argentina e Estados Unidos, que os menores custos produtivos (dentro da porteira) da soja mato-grossense são comprometidos pela ineficiência na infraestrutura de transporte disponível ao escoamento do estado. Segundo os resultados de tal estudo, o dispêndio médio do produtor brasileiro com transporte equivale a 25% do preço do produto; já quando se analisa os produtores americanos, tal dispêndio é de 10%. Ainda segundo os autores, existe uma necessidade imediata de investimento público e privado em melhorias rodovias, assim como em alternativas modais ferroviárias e hidroviárias.

Conclui-se, a partir da revisão de literatura apresentada no presente tópico que, embora o Brasil apresente alta competitividade em termos de custos no que tange aos critérios agronômicos, a logística por muitas vezes acaba por comprometer tal competitividade, haja vista a dificuldade em termos de infraestrutura disponível ao transporte, além das longas distâncias dos portos exportadores, características das movimentações a partir dos estados do Centro-Oeste. Diante de tal comprometimento da competitividade, observa-se como necessários estudos focados em novas infraestruturas e também em planejamento da logística de grãos no Brasil.

2.3. Cadeia Logística dos Grãos

Pode-se dividir a cadeia logística do complexo soja em duas principais ramificações: i) mercado externo e ii) mercado interno. O fluxograma que corresponde a essas ramificações está apresentado na Figura 5.

Figura 5. Representação da cadeia logística da soja e do farelo de soja
 Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

- i) A soja comercializada com o mercado externo é transportada a granel com destino aos portos exportadores, sendo que atualmente tal transporte ocorre, de forma majoritária, por meio do modal rodoviário. Entretanto, para alguns portos, existe a disponibilidade de serviço de transporte por meio dos modais ferroviário e hidroviário.
- ii) A segunda opção de comercialização da soja é o mercado interno, no qual a soja tem como destino as unidades esmagadoras. Nestas, a soja é processada com a finalidade de se produzir óleo de soja, sendo que o resíduo de tal produção é o farelo de soja, o qual por sua vez pode ser comercializado com o próprio mercado interno, principalmente para fábricas de ração, consumo animal direto ou também para o mercado externo. O transporte da soja da fazenda ou armazém até a unidade processadora e da unidade processadora com destino ao mercado interno é realizado exclusivamente por meio do modal rodoviário; já o transporte do farelo de soja com destino à exportação pode ser também realizado através dos modais ferroviário e hidroviário. Vale destacar que o produto principal produzido por uma unidade esmagadora de soja é o óleo de soja, o qual é destinado ao mercado consumidor comum (atacado e varejo), ao mercado da indústria de alimentos, ao mercado externo e também a produção de biodiesel.

Quando se analisa a cadeia logística do milho, o destaque é para a representatividade do mercado interno. Para que o produto chegue até seu destino no mercado interno, ou seja, fábricas de ração e fazendas pecuaristas, o transporte é realizado exclusivamente através do modal rodoviário. Já no que tange à exportação, assim como a soja e o farelo de soja, existe a possibilidade de se contratar os modais ferroviário e hidroviário. É destaque que uma pequena parcela do milho se destina a produção de etanol, sendo que algumas usinas foram construídas recentemente no estado do Mato Grosso. O fluxograma que corresponde à cadeia logística do milho está apresentado na Figura 6.

Figura 6. Representação da cadeia logística do milho
 Fonte: Elaborado pelo autor, 2016

Nos sub-tópicos apresentados a seguir, serão tratados especificamente os aspectos logísticos em cada uma das etapas de transporte da cadeia exportadora da soja, do milho e do farelo de soja, divididos em “Transporte Interno”; “Portos Exportadores”; “Transporte Marítimo” e “Investimento Previsto”.

2.3.1. Transporte Interno

O presente tópico apresenta a caracterização do transporte interno de soja, milho e farelo de soja, ou seja, os fluxos com origens nas fazendas, armazéns e unidades processadoras com destino aos portos exportadores. Para tal, o tópico está dividido em transporte rodoviário e transporte intermodal, que caracterizará de forma agregada as modalidades ferroviária e hidroviária de transporte.

2.3.1.1. Transporte Rodoviário

De maneira geral, no Brasil, o serviço de transporte mais ofertado é o rodoviário, visto que, na maioria dos setores, há carência de infraestruturas pertinentes a outros modais. Segundo Ballou (2006), as principais vantagens do serviço de transporte rodoviário são: flexibilidade de atendimento de porta a porta, não exigência de nenhum descarregamento e carregamento entre os pontos de origem e destino, sua frequência e disponibilidade de serviço e a velocidade de entrega superior a outros modais concorrentes. Concomitantemente, a principal desvantagem de tal modal diz respeito aos elevados preços de fretes, afinal, a capacidade dos caminhões é limitada frente aos modais ferroviário e hidroviário.

No caso dos produtos analisados na revisão de literatura, a soja e o milho são originados nas fazendas e armazéns e entregues nos portos exportadores; já o farelo tem o mesmo destino, mas é originado em unidades esmagadoras. Os três produtos, posteriormente, irão dar sequência ao processo de exportação. O fluxograma que ilustra o processo de transporte rodoviário está apresentado na Figura 7.

Figura 7. Transporte rodoviário de grãos
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Muitas das principais origens exportadoras brasileiras estão demasiadamente distantes dos principais portos exportadores, como é o caso da rota rodoviária com origem em Sorriso – MT e destino Santos – SP, a qual tem uma extensão de aproximadamente 2.000 km. Tal fator torna o transporte rodoviário para estas rotas pouco competitivo no que tange ao preço do frete.

Entre os inúmeros fatores que influenciam no preço do frete, Martins (2011) destaca a alta influência das distâncias entre a origem e destino e os corredores pelos quais a carga irá ser escoada. Já Péra et al. (2012) vão além e concluem que vias de boa qualidade causam impactos negativos no valor do frete, enquanto vias de qualidade ruins ou péssimas aumentam o dispêndio dos embarcadores com frete pago. Tal fato pode ser explicado pelos custos com transporte, afinal, vias de baixa qualidade acarretam maiores custos com manutenção, depreciação, pneu, combustível e, principalmente, tempo.

No ano de 2015, aproximadamente 50% das rodovias brasileiras foram identificadas com algum problema no que tange à sua pavimentação, sendo que os estados do Norte e Nordeste são os que apresentam maiores dificuldades (CNT, 2016). Vale destacar que justamente nessas regiões que o transporte de cargas para os portos do Arco Norte é realizado.

2.3.1.2. Transporte Intermodal

O transporte intermodal permite que o produto chegue até seu destino final, nesse caso, o porto exportador, a partir de pelo menos dois agentes prestadores de serviços logísticos: os transportadores rodoviários e os operadores de terminais de transbordo. Dessa forma, para que os grãos sejam transportados de sua origem até o destino portuário, é necessária a integração de diversas operações logísticas, que podem vir a envolver modais distintos do rodoviário (tais como o ferroviário e o hidroviário). O fluxograma que representa tais elos está ilustrado na Figura 8.

Figura 8. Solução logística intermodal
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A descrição e caracterização dos três elos de operação em torno da solução logística intermodal são:

i) Ponta Rodoviária

A primeira operação da solução logística é, necessariamente, a ponta rodoviária. Trata-se do deslocamento da carga entre o local de produção (fazenda, armazém e unidades esmagadoras) até o ponto de transbordo. Invariavelmente hoje, essa ponta rodoviária é feita por caminhões. As exceções ocorrem quando a malha ferroviária ou a hidrovia passam exatamente pelo ponto de origem, o que no caso do agronegócio brasileiro ocorre apenas em algumas usinas produtoras de açúcar no estado de São Paulo.

ii) Terminais de Transbordo

É notório que a estrutura ferroviária é fixa e, para acessá-la, é necessário um terminal de transbordo, o qual tem como objetivo acumular mercadoria para, enfim, poder escoar o produto quando houver disponibilidade de transporte intermodal. Além disso, esses pontos de transbordo são de empresas diversas, podendo ser das próprias concessionárias que operam a ferrovia ou de empresas terceiras que prestam o serviço de transbordo. Os terminais de transbordo ferroviários e hidroviários, disponíveis atualmente ao transporte em escala comercial de grãos no Brasil, estão apresentados na Figura 9.

iii) Transporte Intermodal

O transporte intermodal, o qual para grãos corresponde aos modais ferroviário e hidroviário, são mais adequados para longas distâncias (BALLOU, 2006), como é o caso de várias das principais rotas brasileiras de exportação, principalmente quando se analisa rotas com origem no Centro-Oeste e com destino aos portos do Sul e Sudeste.

Segundo os resultados pertinentes à avaliação de eficiência financeira de Cicolin e Oliveira (2016), os melhores resultados financeiros no que tange à minimização de custos logísticos da soja originada no estado do Mato Grosso estão associados à utilização dos modais ferroviário e hidroviário. Oliveira e Lopes (2016) quantificaram em seu estudo o impacto da utilização da intermodalidade nos estados do Paraná, Rio

Grande do Sul e Mato Grosso, sendo que se constatou uma redução do custo de 5,5%, 15,6% e 24,9%, respectivamente. Dessa forma, umas das melhores maneiras de se atingir uma maior eficiência na cadeia do milho é a utilização da intermodalidade (OLIVEIRA; LOPES, 2016).

O transporte ferroviário é realizado por concessionárias ferroviárias, sendo que, no caso dos grãos, as concessionárias mais atuantes são ALL/RUMO, VLI e MRS. Já no caso do modal hidroviário, são poucas as hidrovias que atualmente são utilizadas para o transporte de grãos no Brasil, incluindo os rios Madeira, Tapajós, Amazonas e Tietê/Paraná. As ferrovias e suas respectivas concessionárias, além das hidrovias, estão apresentadas na Figura 9.

Figura 9. Localização das unidades de transbordo, malhas ferroviárias e portos exportadores
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANTT, ANTAQ e MDIC (2016)

Neste sentido, os Quadros 1 e 2 apresentam, respectivamente, as Hidrovias brasileiras utilizadas em escala comercial no transporte de grãos e as ferrovias brasileiras utilizadas no transporte de grãos no Brasil.

Quadro 1. Hidrovias que operam grãos no Brasil

Hidrovia do Madeira	Navegável por 1.056 km entre Porto Velho (RO) até sua foz no Rio Amazonas, em Itacoatiara (AM), por onde circula um volume expressivo de grãos e minério.
Hidrovia do Tapajós	apresenta trecho navegável entre São Luís do Tapajós – PA e Santarém, o que permite a navegação de barcas do terminal de Itaituba até os portos de Santarém – PA e Barcarena – PA. Um dos diferenciais da Hidrovia do Tapajós é que o leito é arenoso e, portanto, não apresenta grandes riscos à navegabilidade.
Hidrovia Tietê-Paraná	É a maior em extensão e volume - ligando Conchas (SP), no rio Tietê, e São Simão (GO), no rio Paranaíba, até Itaipu (PR). Atinge 2.400 km de vias navegáveis e 5,7 milhões de toneladas por ano de cargas transportadas, considerando todos os produtos, quando se analisa o transporte de grãos, esse volume pode chegar a 3 milhões de toneladas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNT (2006) e DNIT (2011)

Quadro 2. Ferrovias que operam grãos no Brasil

ALL/RUMO Malha Norte	É uma concessão da América Latina Logística e tem sua extensão atual definida entre a divisa do estado de São Paulo com o Mato Grosso do Sul e o terminal intermodal de Rondonópolis.
ALL/RUMO Malha Paulista	Também uma concessão da Rumo Logística, a qual hoje se estende de leste a oeste do estado de São Paulo; entretanto, quem hoje é responsável pela operação do terminal de transbordo e do transporte ferroviário na malha pelo terminal de Pederneiras é a MRS Logística através de um acordo comercial entre ambas as concessionárias.
Ferrovia Centro Atlântica (FCA)	Tem sua malha estabelecida nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, sendo que a mesma está sob a concessão da VLI Multimodal.
ALL/RUMO – Malha Sul	É a terceira concessão da América Latina que transporta grãos em escala comercial, apresentando sua malha nos estados da região Sul do país. Para o presente estudo, os trechos que movimentam grãos de forma representativa estão contidos no estado do Paraná.
Ferrovia Norte Sul	Operada e concessionada pela VLI Multimodal, hoje seu trecho que recebe operação ferroviária comercial está contido entre os municípios de Palmeirante - TO e Açailândia – MA, sendo que a ferrovia Norte Sul acaba no intercepto com a ferrovia do Carajás e, assim, segue até o porto de São Luís.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTT (2016), MRS (2016), VLI (2016) e RUMO (2016)

2.3.2. Portos Exportadores e Mercados Consumidores

Os portos do Sul e do Sudeste do Brasil ainda são responsáveis pela maior parcela do volume exportado de milho, soja e farelo de soja, visto que os portos de Santos, Paranaguá, Rio Grande, São Francisco do Sul e Vitória juntos correspondem por aproximadamente 80% das exportações brasileiras destes produtos. Já os portos de São Luís, Manaus, Barcarena, Salvador e Santarém, todos portos do Arco-Norte, apresentam uma exportação minoritária, cerca de 19% das exportações nacionais (MDIC, 2018). Os volumes exportados no ano de 2017 e a participação de cada um dos portos na exportação total dos grãos analisados estão apresentados na Tabela 3. Tais portos também estão referenciados espacialmente na Figura 9.

Tabela 3. Exportação de soja e milho por porto no ano de 2017

Porto	Exportação em (1.000 t)			Participação nas Exportações Nacionais
	Milho	Soja	Total	
Santos	13.219	13.032	26.251	27%
Paranaguá	4.061	8.519	12.580	13%
Rio Grande	379	11.373	11.752	12%
São Francisco do Sul	2.783	4.615	7.398	8%
São Luís	2.045	5.004	7.049	7%
Vitória	2.357	3.772	6.129	6%
Manaus	1.228	1.653	2.881	3%
Salvador	74	2.693	2.767	3%
Barcarena	578	2.185	2.763	3%
Santarém	1.648	1.027	2.675	3%
Outros Portos	516	449	965	1%
Total	28.888	54.322	96.284	100%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em MDIC (2018)

Embora a participação dos portos do Norte seja minoritária no cenário atual, é destaque que a mesma vem evoluindo positivamente, principalmente nos últimos três anos. Tal cenário é consequência dos recorrentes e concretos investimentos do setor privado em terminais de transbordo, terminal portuário e ativo de transporte no Arco-Norte, além de investimento público, como é o caso do terminal público de exportação de grãos de São Luís - MA, o qual foi inaugurado no ano de 2014. Diante deste cenário de investimentos, a Figura 10 apresenta o volume exportado pelos portos do Arco-

Norte nos anos de 2013, 2014 e 2015, na qual pode-se constatar o expressivo aumento no volume exportado em todos os portos analisados, sendo que o volume total exportado pelo Arco-Norte cresceu 90% entre 2013 e 2015, ou em valores brutos, 9 milhões de toneladas.

Figura 10. Evolução das exportações de soja e milho no Arco - Norte entre 2013 e 2015
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em MDIC (2016)

É notório que novos investimentos no Arco-Norte estão sendo efetivados e outros estão em fase de projeto. O grande destaque é a presença dos maiores *players* comercializadores e esmagadores de grãos nestes investimentos, visto que os terminais de Porto Velho – RO e Itaituba – PA abrigam infraestruturas das *tradings* Cargill, Amaggi, Bunge e ADM.

Segundo Almeida (2015), para que o aumento da competitividade brasileira no comércio internacional seja atingido, quando se analisa os portos brasileiros, é necessário principalmente investimento em acesso às zonas portuárias, tais como rodovias e ferrovias, além de melhorias no calado portuário, fator fundamental no que tange ao recebimento de navios de maior capacidade. Cunha (2016) vai além e coloca não só o acesso e calado como principais vilões da competitividade dos portos brasileiros, mas também o elevado sistema burocrático, tarifas portuárias elevadas,

tarifas excessivas cobradas pelos armadores e necessidades de ampliação dos berços de atracação e de dragagem.

É fato que o principal mercado externo dos grãos brasileiros analisado pelo presente estudo é o continente Asiático, o qual demanda aproximadamente 81% do volume total de soja e milho exportado pelo Brasil, sendo que somente a China importa 41% desse volume total. Na sequência, a Europa e o Oriente Médio são responsáveis juntos pela importação de 19% destes produtos. Isso mostra que a aquisição dessas cargas brasileiras é demasiadamente concentrada (MDIC, 2018). A Tabela 4 apresenta informações detalhadas a respeito da demanda externa por soja, milho e farelo de soja brasileiros.

Tabela 4. Importação de soja e milho do Brasil por país demandante em 2017

Destino	Volume em (t)	Participação
Ásia	78.063.228	81%
Europa	10.211.638	11%
Oriente Médio	7.197.032	7%
Outros Destinos	812.101	1%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em MDIC (2018)

Conclui-se, a partir do presente tópico que, embora as exportações de soja, milho e farelo de soja brasileiros sejam concentradas nos portos do Sul e Sudeste, é destaque que os portos do Arco-Norte vêm ganhando notoriedade nos últimos anos e, mais do que isso, os investimentos, principalmente privados em tais portos e em terminais que promovem acesso a eles, tendem a ser recorrentes nos próximos anos. Além disso, também se destaca o fator calado e os custos portuários na atratividade e ganho de competitividade dos portos do Arco-Norte frente aos portos do Sul e Sudeste. No que tange às importações, percebe-se que a concentração é elevada, principalmente quando se analisa o tamanho do mercado asiático como um todo frente às exportações brasileiras.

2.4. Investimentos Logísticos Previstos

Diante da expansão produtiva do agronegócio brasileiro e das limitações no âmbito da infraestrutura logística do país, faz-se necessária uma série de investimentos,

principalmente no que se refere à cadeia logística dos grãos brasileiros. Segundo Assis et al. (2015), existe a necessidade de investimentos em expansão ferroviária, melhoria das condições de navegabilidade nas hidrovias, aumento da capacidade da infraestrutura portuária e da malha rodoviária, sendo que tais investimentos devem considerar não somente o impacto econômico diante das rotas efetivamente utilizadas, mas também as características de oferta e demanda dos produtos agrícolas, principalmente no âmbito da demanda internacional, a qual vem crescendo sistematicamente nos últimos anos.

Lima e Penna (2016) colocam que um dos motivos da infraestrutura de transporte ser deficitária no Mato Grosso é a não sustentação de investimentos públicos que acompanhassem o crescimento produtivo do agronegócio do estado. Além disso, os autores também destacam que para que os atores privados - os quais atuam no setor produtor de grãos - mantenham sua hegemonia no setor, é necessário o investimento privado em infraestrutura.

No contexto de necessidade de investimentos em infraestrutura logística no Brasil, o governo federal lançou em agosto de 2012 o Programa de Investimento em Logística (PIL), o qual fazia parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e foi atualizado em 2015 através do denominado PIL 2. Tal programa visa a expansão e melhorias nas malhas ferroviárias e rodoviárias do país para assim, consequentemente, gerar uma maior competitividade tarifária, principalmente no que tange ao escoamento de *commodities* agrícolas no Brasil. O programa visa atuar na perspectiva de parcerias público-privadas (PPP) através de modelo de concessão (PIL, 2016).

Em setembro de 2016, o governo federal anunciou o Programa de Parcerias para Investimentos (PPI), o qual objetiva alavancar os investimentos no Brasil e gerar empregos em meio ao cenário econômico conturbado que se apresenta. Entre os projetos apresentados, chama atenção o de uma ferrovia que traria um potencial impacto direto no escoamento de grãos no Brasil: a estrada de ferro que ligará Sinop - MT a Miritituba - PA, chamada pelo setor de “Ferrogrão”. O potencial traçado da Ferrogrão está apresentado na Figura 11.

Figura 11. Mapeamento do projeto da Ferrogrão
 Fonte: Avançar parcerias (2018)

Segundo a Estação da Luz Participações (2018), empresa que gerencia técnica e politicamente o projeto da potencial ferrovia, o custo total de implementação do projeto em questão é de aproximadamente R\$ 12,7 bilhões.

De acordo com a concessionária rodoviária Rota do Oeste (2018), o custo inicial de duplicação, recuperação do asfalto e construção de pontos de apoio no trecho de 450 km da BR-163 no estado do Mato Grosso é estimado em aproximadamente R\$ 2,8 bilhões. Desta forma, considerando que o trecho paraense desta estrada apresente um traçado de aproximadamente 700 km, pode-se extrapolar, utilizando uma simples proporção aritmética, que o potencial custo de melhorias na BR-163 entre o Mato Grosso e Miritituba (PA) seja de aproximadamente R\$ 4,3 bilhões, atendendo as premissas dos modelos de contratos de concessão vigentes atualmente.

3 MATERIAL E MÉTODO

O principal método da presente dissertação consiste na elaboração e aplicação de um modelo de programação linear de transporte, o qual tem como objetivo a minimização dos custos de transporte rodoviário, hidroviário, marítimo e dos custos de elevação portuária e transbordo multimodal.

Dessa forma, a análise dos elos de transporte e dos custos de transbordo e de elevação é o primeiro diferencial do método proposto. Conforme Kussano e Batalha (2012), nesse tipo de análise é fundamental a incorporação de outros custos além dos custos de transporte, afinal, nem sempre o menor custo de transporte resulta no menor custo logístico total.

Os trabalhos que minimizam custos logísticos de soja ou milho por meio de modelos de transporte e de minimização de custos e que foram avaliados pela revisão de literatura fazem apenas recortes de corredores específicos de escoamento ou desconsideram infraestruturas existentes.

Com efeito, Borges-Junior e Pinto (2016) consideram apenas os portos do Sul em seu modelo e também apresentam limitantes de dados de capacidade em suas restrições. Oliveira et al. (2015) avaliam apenas as rotas com origem no estado do Mato Grosso. Amaral et al. (2012), por sua vez, não consideram alternativas modais e somente analisam os fluxos com origem no Mato Grosso e destino aos portos de Paranaguá e de Santos.

Em síntese, o método a ser utilizado no presente trabalho possui uma série de diferenciais em relação aos estudos disponíveis na literatura sobre o tema. Dentre esses diferenciais, estão:

- i) Desagregação da oferta de soja e milho por município;
- ii) Inclusão de todos os municípios brasileiros que produzem um dos dois produtos analisados;
- iii) Utilização das capacidades reais atuais de escoamento intermodal e portuário;
- iv) Utilização de curvas de fretes específicas para cada um dos corredores logísticos contemplados;
- v) Utilização de todos os portos brasileiros que exportam soja ou milho em escala comercial;

- vi) Inclusão de todos os elos de transporte dos grãos brasileiros, sendo eles: transporte ferroviário, operação de transbordo, transporte hidroviário, transporte rodoviário, operações portuárias e fretes marítimos.

É importante destacar que embora a cadeia produtiva do setor de milho e soja também seja composta pela produção de óleo de soja, etanol, farelo de soja e biodiesel, como foi citado no capítulo de revisão de literatura, para o presente estudo optou-se por focar exclusivamente na exportação de soja e milho, visto que, comparado ao volume total exportado de soja e milho o volume de seus derivados é incipiente.

Isso posto, o presente capítulo foi dividido em três partes para permitir um melhor detalhamento da metodologia adotada. Esses sub-tópicos estão estruturados da seguinte forma: 1) dados utilizados, na qual estão apresentados os dados e o método de coleta da demanda internacional, oferta municipal, fretes rodoviários, dados intermodais e dados portuários; 2) modelo de transporte, na qual será apresentada o modelo de programação linear utilizado, as variáveis, parâmetros e restrições e; 3) cenários avaliados, onde se explicam os cenários que serão comparados entre si para gerar os resultados do presente estudo.

3.1. Dados Utilizados

O objetivo inicial desta seção diz respeito à indicação do método de coleta utilizado para a tabulação desses dados - os quais podem ser primários ou secundários.

3.1.1. Demanda

Como visto na revisão de literatura, 99% da demanda internacional de soja e milho brasileiros está concentrada em 3 principais destinos (Ásia, Europa e Oriente Médio); portanto, estes serão considerados como fluxos de exportação para aplicação do modelo proposto. Dessa forma, serão considerados os dados totais de demanda, ou seja, a soma da demanda de soja e milho, conforme já apresentado na Tabela 4.

3.1.2. Oferta

O foco do presente modelo é utilizar o volume exportado de grãos por município. Entretanto, não existem bases de dados desagregadas, além do volume de exportação dos estados brasileiros. Dessa forma, assim como proposto por Branco et

al. (2010), a exportação municipal será dada pela divisão ponderada da exportação estadual em função da representatividade da produção municipal frente à produção do estado.

Para os dados referentes à soja e ao milho, foram utilizadas as informações de produção municipal provenientes do levantamento agrícola municipal (IBGE, 2018), sendo que o último levantamento divulgado diz respeito ao ano de 2016. Já os dados referentes a exportação são provenientes do MDIC (2018) e contabilizam a quantidade (verificar essa nomenclatura ao longo do texto, toneladas devem ser tratadas como quantidade e não volume) exportado durante o ano de 2017. Vale destacar, que os dados de produção são os únicos dados referentes a 2016, os demais, exportação, capacidade, fretes e tarifas, são referentes a 2017.

Dessa forma, a oferta municipal de soja e milho foi obtida por meio da expressão (1), a qual contempla a oferta por município dos dois produtos analisados pelo trabalho.

$$\text{OFERTA } i = \left(\frac{Ps_i}{Ps_e} \times \text{Exps}_e \right) + \left(\frac{Pm_i}{Pm_e} \times \text{Exp}m_e \right)$$

(1)

OFERTA i : oferta destinada à exportação de soja e de milho do município i .

Ps_i : produção de soja do município i .

Ps_e : produção de soja do estado no qual o município i está localizado.

Exps_e : exportação de soja do estado no qual o município i está localizado.

Pm_i : produção de milho do município i .

Pm_e : produção de milho do estado no qual o município i está localizado.

$\text{Exp}m_e$: exportação de milho do estado no qual o município i está localizado.

3.1.3. Dados Portuários

Os dados referentes à capacidade de exportação portuária dizem respeito ao maior escoamento anual por porto entre os anos de 2015 e 2017, os quais foram coletados da base de dados do MDIC (2018). Já os dados referentes ao frete marítimo foram obtidos a partir de fontes primárias de dados, provenientes de uma coleta sistemática

de dados junto aos agentes atuantes no setor de forma mensal no ano de 2017 (tal coleta foi realizada pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial, ESALQ-LOG, 2018). Dessa forma, o valor apresentado e utilizado é oriundo de uma média anual ponderada pelo volume de exportação mensal de cada um dos portos analisados. As capacidades portuárias e os fretes marítimos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Capacidade portuária, tarifa de elevação e fretes marítimos por porto e por destino no ano de 2017

Porto Exportador	Capacidade Portuária de Exportação em (1.000 t)	Tarifa de Elevação (R\$/t)	Frete Marítimo por Destino (R\$/t)		
			Ásia	Europa	Oriente Médio
Santos (SP)	30.283	34,10	100,44	87,44	93,76
Paranaguá (PR)	14.956	27,90	99,59	83,77	90,17
Rio Grande (RS)	12.838	26,35	99,73	84,98	91,60
São Luís (MA)	8.032	26,35	103,74	66,51	71,29
Barcarena (PA)	7.480	23,19	102,96	68,04	73,20
São Francisco do Sul (SC)	7.398	27,59	101,22	83,62	90,02
Vitória (ES)	6.129	28,52	97,18	83,92	90,29
Santarém (PA)	3.842	22,91	104,37	71,94	77,50
Itacoatiara (AM)	3.820	24,46	112,52	74,10	79,77
Salvador (BA)	3.198	27,59	100,36	87,53	87,53

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de MDIC (2018) e ESALQ-LOG (2017)

Dados Rodoviários

Para a composição dos fretes rodoviários, os quais têm como origem os municípios produtores e destino os portos exportadores, terminais de transbordo rodoferroviários e terminais de transbordo rodohidroviários, foram utilizadas informações do Sistema

de Informações de Fretes (SIFRECA), o qual é desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG) há mais de 15 anos. – aqui precisa citar, talvez SIFRECA (2018).

O método do SIFRECA consiste na coleta sistemática de fretes em todo o Brasil, a qual é realizada semanalmente por meio do contato telefônico com transportadores (frotistas, agenciadores e mistos) e embarcadores (cooperativas, unidades processadoras e traders).

O método de geração dos dados finais consiste de duas principais etapas, sendo a primeira uma validação estatística do dado bruto, o qual só é validado se o mesmo estiver dentro do intervalo de 1,5 desvio-padrão a partir da média, frente à amostra dividida em faixas de distância de 50 km para cada um dos produtos analisados. O segundo processo metodológico é a geração de uma média simples por cruzamento de origem, destino e produto, sendo que uma informação só é considerada validada quando existem duas ou mais informações para uma mesma rota e produto. Outro ponto de destaque é que os fretes da metodologia SIFRECA adotam a premissa de “frete cheio” (com pedágio incluso) e sem ICMS embutido no preço do frete (ESALQ-LOG, 2016).

Foram assim disponibilizadas - ao todo - 8.500 informações de fretes de soja e de milho praticados pelo mercado no ano de 2017. Tais fretes estão apresentados na Figura 12.

Figura 12. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017

Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

Embora a regressão linear obtida com todos os fretes de soja e milho tenha apresentado um coeficiente de correlação alto, ou seja, 0,9022 (vide Figura 12), o presente estudo, visando captar ao máximo as características mercadológicas de cada diferente corredor logístico de grãos no Brasil, desagregou os dados por corredores, os quais são caracterizados pelos seus destinos. Além disso, ainda analisando a Figura 12, é destaque que para distâncias superiores a 3.000 km o frete apresenta uma menor taxa de crescimento, o que não ocorre de forma tão representativa nas análises desagregadas por polo de destino. As regressões lineares obtidas estão ilustradas nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 na sequência da presente seção.

A Figura 13 ilustra regressões de fretes por distância para os portos do Sul e Sudeste do Brasil, sendo eles: Santos, Paranaguá, Rio Grande e São Francisco do Sul. São dois pontos que chamam atenção em tais gráficos, sendo eles: 1) o coeficiente de intercepto da curva de fretes do porto de Santos é significativamente maior que os demais portos do Sul. Tal fato pode ser explicado pela baixa disponibilidade de fretes de retorno no porto de Santos, pela estadia portuária que também tem se mostrado maior no porto e pelo custo do pedágio superior em rotas com destino ao estado de São Paulo; e 2) o coeficiente de correlação entre frete e distância para a análise específica dos portos do Sul e Sudeste deram resultados mais explicativos, mostrando assim que a relação entre frete e distância é maior quando se analisa corredores específicos

Figura 13. Dispersão de fretes de soja, milho e farelo de soja no ano de 2017 para os portos do Sul e Sudeste do Brasil
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

A Figura 14 ilustra as regressões de frete por distância para os portos do Norte e Nordeste do Brasil, especificamente Salvador, São Luís, Barcarena e Santarém. Vale destacar que devido a baixa qualidade das vias de acesso aos portos de Barcarena, Santarém e Salvador, o coeficiente linear da regressão para estes portos difere em até R\$ 27,00 por tonelada quando comprado a regressão com destino ao porto de São Luís (MA).

Figura 14. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os portos do Norte e Nordeste do Brasil
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

De maneira geral, os fretes com destino a terminais de transbordo são mais baixos (vide Figuras 15 e 16) quando comparados a fretes com destino a portos de exportação, visto que os terminais de transbordo têm como característica uma maior produtividade e um maior número de viagens realizadas em um mesmo período de tempo. Entretanto, duas características de terminais de transbordo provocam patamares superiores de fretes quando comparados aos outros, sendo elas: 1) tempo de fila elevado nos terminais para descarregamento; e 2) necessidade imediata de movimentação de volumes demasiadamente expressivos quando comparado à produção da área de captação (tais casos ocorrem nos terminais de transbordo dos municípios de Palmeirante (TO) e Rondonópolis (MT)).

Figura 15. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os terminais de transbordo rodoferroviários do Brasil
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

Figura 16. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os terminais de transbordo rodoferroviários do Brasil
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

Por último, estão apresentadas na Figura 17 as dispersões de fretes com destino aos terminais rodo-hidroviários de Porto Velho – RO, Itaituba – PA e São Simão – GO, sendo que os grandes destaques são os valores elevados de intercepto das curvas de Porto Velho e de Itaituba, o que por sua vez coloca os fretes para tais destinos como os mais elevados entre os corredores analisados. Tal cenário ocorre pela baixa qualidade das vias de acesso a esses terminais, o que por sua vez gera um maior dispêndio de custos e tempo para os prestadores de serviço de transporte rodoviário.

Figura 17. Dispersão de fretes de soja e milho no ano de 2017 para os terminais de transbordo rodo-hidroviários do Brasil
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

Diante da aplicação das curvas de fretes apresentadas em uma rota de 1.000 km, por exemplo, constata-se que o frete estimado para o porto de Rio Grande é de aproximadamente R\$ 124,00 por tonelada transportada; já o frete para a mesma distância, mas com destino ao terminal rodohidroviário de Itaituba – PA, apresenta valor estimado de aproximadamente R\$ 210,00 por tonelada transportada, ou seja, uma diferença de R\$ 86,00 por tonelada transportada. Outro exemplo em que a diferença entre corredores é ainda mais representativa ocorre quando se compara uma rota de 2.000 km envolvendo os portos exportadores de Rio Grande – RS e Santarém – PA, cujos fretes estimados são respectivamente R\$ 222,00 por tonelada transportada e R\$ 259,00 por tonelada transportada, uma diferença bruta de R\$ 37,00 por tonelada.

Os coeficientes angulares e interceptos de todas as curvas de fretes obtidas por corredor logístico estão apresentados na Tabela 6. Nela é possível comparar fretes estimados por corredor para rotas de 200, 1000 e 2000 km de grãos no Brasil.

Tabela 6. Curvas de fretes por corredor logístico rodoviário e suas aplicações

Tipo de Corredor	Corredor de Transporte	Coeficiente Angular	Intercepto	Frete Estimado (R\$/t)		
				200 km	1000 km	2000 km
Ferroviário	Rondonópolis (SP)	0,1101	36,854	59	147	257
Ferroviário	Maringá (PR)	0,1152	16,827	40	132	247
Ferroviário	Araguari (MG)	0,1188	30,3	54	149	268
Ferroviário	Cruz Alta (RS)	0,1242	10,591	35	135	259
Ferroviário	Palmeirante (TO)	0,1555	10,24	41	166	321
Ferroviário	Porto Franco (MA)	0,1407	15,863	44	157	297
Hidroviário	São Simão (GO)	0,1221	23,523	48	146	268
Hidroviário	Itaituba (PA)	0,0779	132,47	148	210	288
Hidroviário	Porto Velho (RO)	0,0702	83,77	98	154	224
Porto	Santos (SP)	0,1084	52,563	74	161	269
Porto	Paranaguá (PR)	0,1029	43,998	65	147	250
Porto	Barcarena (PA)	0,0867	82,205	100	169	256
Porto	Rio Grande (RS)	0,0985	25,148	45	124	222
Porto	São F. do Sul (SC)	0,1012	39,108	59	140	242
Porto	Salvador (BA)	0,0843	75,395	92	160	244
Porto	São Luís (MA)	0,0944	55,772	75	150	245
Porto	Santarém (PA)	0,0867	82,205	100	169	256

Fonte: Elaborado pelo autor com base em SIFRECA (2018)

3.1.4. Dados Intermodais

Os dados referentes a tarifas de transbordo, frete ferroviário, frete hidroviário e escoamento efetivo em 2017, ilustrados com suas respectivas médias aritméticas na Tabela 7, são oriundos de coleta de informações primárias junto a agentes envolvidos nas respectivas operações, sendo eles três concessionárias ferroviárias, quatro dos principais embarcadores e dois operadores logísticos.

Tabela 7. Dados de terminais, porto de destino, frete hidroviário, frete ferroviário e escoamento efetivo

Terminal	Porto de destino	Frete intermodal (R\$/t)	Escoamento efetivo em 2017 (t)
Rondonópolis (MT)	Santos (SP)	140	14.439.953
São Simão (GO)	Santos (SP)	97	1.480.117
Maringá (PR)	Paranaguá (PR)	76	6.167.923
Araguari (MG)	Vitoria (ES)	95	5.227.781
Itaituba (PA)	Barcarena (PA)	65	9.057.762
Itaituba (PA)	Santarém (PA)	35	9.057.762
Cruz Alta (RS)	Rio Grande (RS)	40	1.916.580
Palmeirante (TO)	São Luís (MA)	60	2.978.994
Porto Franco (MA)	São Luís (MA)	40	1.586.174
Porto Velho (RO)	Itacoatiara (AM)	60	3.819.801

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.2. Modelo de Transporte

A alocação de fluxos de grãos entre os municípios produtores e processadores e os portos exportadores de tais *commodities* contou com a aplicação de um modelo de otimização linear, o qual, por sua vez, objetivou a minimização do custo com transporte total dos grãos brasileiros exportados, agregando-se, assim, os custos com transporte terrestre, as tarifas de transbordo intermodal, os custos portuários de elevação da carga para os navios e os respectivos fretes marítimos.

$$Custo = \left(\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \times FR_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r P_{ik} \times FP_{ik} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r P_{ik} \times CT_k \\ & + \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^q I_{kj} \times FI_{kj} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r (R_{ij} + I_{kj}) \times CE_j + \sum_{j=1}^q \sum_{l=1}^d N_{jl} \times FN_{jl} \end{aligned} \right) \quad (2)$$

Foram consideradas as seguintes restrições:

Restrição que garante o escoamento da oferta:

$$\sum_{j=1}^q R_{ij} + \sum_{k=1}^r P_{ik} = \text{OFERTA } i, \text{ para todo } i \quad (3)$$

ou seja, a soma dos fluxos originados no município produtor i , transportados por meio do modal rodoviário direto com destino a todos os portos, mais a soma dos fluxos originados no mesmo município i destinados a todos os terminais de transbordo, deve ser igual a oferta de grãos para exportação no município i . Tendo em vista que, todo escoamento depende do modal rodoviário, exclusivamente ou não, tal restrição garante que a produção de todos os municípios destinada à exportação será escoada por meio da utilização do transporte rodoviário direto ou do transporte ponta (entre polo produtor e terminal de transbordo).

Restrição que garante a continuidade do escoamento do fluxo que chega ao terminal intermodal:

$$\sum_{i=1}^n P_{ik} = \sum_{j=1}^m I_{kj}, \text{ para todo } k \quad (4)$$

ou seja, a soma do volume de grãos originados no município produtor i e destinados aos terminais de transbordo k deve ser igual ao fluxo de expedição do terminal k , isto para todo terminal intermodal de transbordo k .

Restrição de capacidade do terminal intermodal:

$$\sum_{i=1}^n P_{ik} \leq \text{CAPT } k, \text{ para todo } k \quad (5)$$

A soma dos fluxos com destino ao terminal de transbordo intermodal k e origem em todos os municípios i deve ser menor ou igual à capacidade do terminal k (CAPT k). Tal restrição garante que a capacidade de cada um dos terminais utilizados pelo modelo proposto seja preservada.

Restrição de capacidade dos portos exportadores:

$$\sum_{k=1}^r I_{kj} + \sum_{i=1}^n R_{ij} \leq \text{CAPP } j, \text{ para todo } j \quad (6)$$

A soma dos fluxos com origem nos pontos de transbordo intermodal k e destino ao porto exportador j mais a soma dos fluxos com origem nos municípios produtores i e destino no porto exportador j deve ser menor ou igual à capacidade de embarque do porto j. Tal premissa garante que a capacidade efetiva de embarque dos portos utilizados no modelo não seja violada.

Restrição que garante que a demanda do país de destino seja atendida:

$$\sum_{j=1}^m N_{jl} = \text{DEMANDA } l, \text{ para todo } l \quad (7)$$

ou seja, a soma dos fluxos originados nos portos exportadores j e destinados ao país demandante de grãos l deve ser igual. Tal restrição garante que a demanda dos países l seja atendida pela oferta brasileira.

Restrição que garante a continuidade do escoamento do fluxo que chega aos portos exportadores:

$$\sum_{k=1}^r I_{kj} + \sum_{i=1}^n R_{ij} = \sum_{l=1}^q N_{jl} \quad (8)$$

ou seja, o que chega ao porto j com origem nos municípios i e terminais k deve ser igual ao fluxo de saída do porto j , para todos os portos.

A descrição detalhada dos parâmetros, variáveis de decisão e índices utilizados no modelo proposto está listada a seguir:

Parâmetros:

OFERTA i : oferta de grãos com destino à exportação no município i .

DEMANDA l : demanda por grãos brasileiros no país l .

CAPT k : capacidade de embarque do terminal intermodal de transbordo k .

CAPP j : capacidade de embarque de grãos no porto j .

FR_{ij} : Frete rodoviário em reais por tonelada com origem no município produtor i e destino ao porto exportador j .

FP_{ik} : Frete rodoviário em reais por tonelada com origem no município produtor i e destino ao terminal intermodal k .

FI_{kj} : Frete intermodal em reais por tonelada com origem terminal intermodal k e destino ao porto exportador j .

FN_{jl} : Frete marítimo em reais por tonelada com origem no porto exportador j e destino à região importadora l

CT_k : Custo para efetivação do transbordo no terminal intermodal k .

CE_j : Custo de elevação portuária no porto exportador j .

Variáveis de decisão:

R_{ij} : Fluxo rodoviário em toneladas com origem no município produtor i e destino ao porto exportador j .

P_{ik} : Fluxo rodoviário em toneladas com origem no município produtor i e destino ao terminal intermodal de transbordo k .

I_{kj} : Fluxo intermodal em toneladas com origem no terminal intermodal de transbordo k e destino ao porto exportador j .

N_{jl} : Fluxo marítimo em toneladas com origem porto exportador j e destino à região importadora l .

Índices:

i : município produtor ou processador de grãos.

j : porto exportador de grãos.

k : terminal intermodal de transbordo, podendo ser rodoferroviário ou rodohidroviário.

l : região de destino dos grãos no mercado externo.

n : índice referente ao número total de municípios produtores ou processadores de grãos.

m : índice referente ao número total de portos exportadores de grãos.

r : índice referente ao número total de terminais intermodal de transbordo.

q : índice referente ao número total de regiões de destino dos grãos no mercado externo.

A linguagem de programação para o modelo apresentado foi *General Algebraic Modeling System* (GAMS), inclusive, os *inputs* do modelo estão apresentados no ANEXO A do presente documento.

3.3. Cenários Analisados

Nos resultados do presente estudo foram avaliados e comparados 10 cenários distintos, sendo que o cenário 1 é o cenário base ou referência para comparação, já que o mesmo é o que mais se aproxima do mercado efetivado no ano de 2017. Os cenários estão apresentados no Quadro 3, e na sequência, são apresentadas algumas premissas adotadas para estes cenários.

Quadro 3. Cenários avaliados

C1	Cenário base, o qual contempla as capacidades reais e custos logísticos efetivos no ano de 2017.
C2	Aumento de 50% na capacidade intermodal, mantendo-se as capacidades portuárias e os custos logísticos.
C3	Aumento de 50% na capacidade portuária, mantendo-se as capacidades intermodais e os custos logísticos.
C4	Aumento concomitante de 50% nas capacidades intermodais e portuárias com relação ao cenário base e manutenção dos custos logísticos de 2017.
C5	Aumento de 100% na capacidade de exportação do Arco-Norte e manutenção das capacidades intermodal e portuária para os portos do Sul e Sudeste, além dos custos logísticos de 2017.
C6	Simulação da pavimentação e duplicação completa da BR-163 até o terminal de Miritituba (PA) e manutenção da capacidade intermodal e portuária do cenário base
C7	Inclusão da potencial ferrovia “Ferrogrão” no escopo logístico brasileiro e manutenção das capacidades intermodais e portuárias do cenário base, assim como os custos logísticos.
C8	Aumento da capacidade de exportação do Arco-Norte em 100% e concomitante duplicação e pavimentação da BR-163 até Miritituba (PA), e manutenção das capacidades portuárias e intermodal com destino aos portos do Sul e Sudeste.
C9	Aumento da capacidade de exportação do Arco-Norte em 100% e concomitante implantação da ferrovia “Ferrogrão”, e manutenção das capacidades portuárias e intermodal com destino aos portos do Sul e Sudeste.
C10	Aumento da capacidade de exportação do Arco-Norte em 100%; implantação da ferrovia “Ferrogrão”; duplicação e pavimentação da BR-163 até Miritituba (PA) e manutenção das capacidades portuárias e intermodal com destino aos portos do Sul e Sudeste.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Destaca-se que para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5, os valores de fretes rodoviário, de frete intermodal, de tarifas portuárias e de fretes marítimos não sofreram alteração no que tange aos *inputs* da modelagem.

Para os cenários C6, C7, C8, C9 e C10, adotou-se a curva de fretes do corredor Rondonópolis (MT) - tal curva está apresentada na Tabela 6 – que consiste na aplicação de um coeficiente angular (0,1101) - o qual multiplica a distância da rota - adicionado ao intercepto para que se contabilize o componente de frete da mesma rota, no caso R\$ 36,854 por tonelada.

A escolha da utilização da curva de frete de Rondonópolis (MT) para a aplicação nos corredores de Itaituba (PA) e Sinop (MT) ocorreu pelas semelhanças dos corredores, principalmente no que tange ao volume demandado pelos terminais e à potencial equalização na qualidade da BR-163 entre trechos no Mato Grosso e no Pará. Neste sentido, a Figura 18 destaca os municípios de Rondonópolis (MT), Itaituba (PA) e Sinop (MT) no traçado da BR-163.

Figura 18. Rondonópolis, Sinop e Itaituba na BR-163
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Também vale destacar, que independente do cenário, os volumes originados por município e demandados por país demandante permaneceram os mesmos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos através da aplicação das premissas e metodologias propostas. Para facilitar o entendimento, o capítulo foi dividido em dois tópicos, sendo eles: 1) Resultados gerais, o qual contempla os comparativos genéricos entre os cenários avaliados, ou seja, tanto o custo total por cenário, quanto o custo desagregado por operação logística (transporte interno, tarifas portuárias e transporte marítimo); e 2) Resultados específicos, que aborda os resultados em torno da fobagem¹, utilização dos terminais de transbordo e utilização dos portos (vale destacar que as análises apresentadas são pautadas no comparativo entre os cenários propostos).

4.1. Resultados Gerais

Como primeiro destaque no que tange à comparação entre os 10 cenários avaliados é que todos os cenários propostos apresentam potencial economia no custo total de transporte de soja e milho no Brasil quando comparado ao cenário 1, o qual considera as capacidades e custos logísticos reais no ano de 2017. Entretanto, os cenários que se destacaram neste critério são os de 6 a 10, os quais adotam a duplicação e pavimentação da BR-163 e construção da ferrovia Ferrogrão, sendo tais critérios adotados de forma isolada ou ao mesmo tempo.

Entre os 10 cenários avaliados na presente pesquisa, o cenário que apresenta o menor custo logístico total (contemplando transporte interno, tarifas portuárias e transporte marítimo), comparado ao cenário base, é o cenário 10. A economia total gerada em comparação ao cenário 1 (cenário base) é de 4,49%, o que representaria aproximadamente R\$ 1,2 bilhões por ano. Vale lembrar que o cenário 10 mantém a capacidade de todos os portos do Sul e Sudeste do Brasil, os fretes rodoviários e ferroviários praticados para estes portos e as capacidades intermodais que abastecem os portos do Sul e Sudeste; entretanto, o cenário em questão propõe a ampliação da capacidade intermodal e portuária do Arco-Norte em 100%, aplica a potencial

---

¹ Fobagem faz referência a sigla de comércio internacional FOB (Free on Board), a qual, traduzida para o português significa “Livre a Bordo”, nesta modalidade de comercialização o vendedor é responsável pelos custos do transporte interno da mercadoria assim como os custos e tarifas portuárias, posteriormente ao embarque nos navios a responsabilidade passa a ser do comprador. Portanto, o termo Fobagem representa a soma do frete interno (seja ele rodoviário ou intermodal) e os custos portuários de embarque nos navios exportadores, elevação portuária (CASTRO, 1999 e RATTI, 2006).

pavimentação e duplicação completa da BR-163 até Itaituba (PA) e adiciona a ferrovia Ferrogrão no escopo de transporte de grãos no Brasil.

O segundo melhor desempenho financeiro pertence ao cenário 9, cuja economia em relação ao cenário base é de 4,43%. Tal economia é apenas R\$ 15 milhões menor que a potencial economia gerada pelo cenário 10. Entretanto, a diferença em relação às premissas dos cenários 9 e 10 é bastante representativa, ou seja, o cenário 9 não conta com a duplicação e pavimentação completa da BR-163, o que coloca em dúvida a necessidade de se investir concomitantemente em ambas as infraestruturas (duplicação da BR-163 e construção da Ferrogrão).

O terceiro cenário que apresentou menor custo logístico total é o cenário 7, o qual inclui a Ferrogrão no escopo logístico da soja e do milho e mantém as capacidades das demais intermodalidades já existentes no Brasil, além das capacidades dos portos brasileiros. A potencial economia gerada pelo cenário 7 é de aproximadamente R\$ 984 milhões. Quando comparada ao cenário base, tal economia, em termos percentuais, é de 3,67%.

Já o cenário 8, o qual somente propõe a duplicação e pavimentação da BR-163, apresenta uma economia de aproximadamente R\$ 568 milhões ou 2,16%, ou seja, a menos representativa economia entre os quatro cenários que alteram as infraestruturas de acesso aos portos de Santarém (PA) e Barcarena (PA).

A Figura 19 ilustra a economia financeira potencial proveniente da aplicação do cenário 2 ao cenário 10 em comparação ao cenário 1, o qual é a base do presente estudo.

Figura 19. Economia potencial por cenário avaliado
 Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa (2018)

Ainda analisando a Figura 18, nota-se que entre os cenários 2 a 6, os quais ampliam as capacidades portuárias e as capacidades intermodais ou promovem estas duas ampliações ao mesmo tempo, o cenário que se destaca no que tange à potencial redução de custos logísticos é o cenário 4. Vale lembrar que o cenário 4 promove o aumento concomitante da capacidade portuária e intermodal de todos os portos e terminais de transbordo do Brasil em 50%. Desta forma, o cenário 4 promove uma economia potencial de aproximadamente R\$ 539 milhões ou 2,01%, quando comparado ao cenário 1.

A Tabela 8, além de apresentar o custo logístico total por cenário avaliado no presente estudo, também apresenta a desagregação destes custos em três operações logísticas da cadeia de soja e milho, sendo elas: 1) Transporte interno, ou seja, os custos pertinentes ao transporte rodoviário e intermodal em território brasileiro; 2) Tarifas portuárias, as quais correspondem ao custo de elevação e armazenagem da soja e do milho nos portos brasileiros e; 3) Transporte marítimo, o qual corresponde ao dispêndio financeiro para se efetuar o transporte dos portos brasileiros até os portos de destino no mercado internacional.

Tabela 8. Custo total por operação logística

Cenário	Custo por Operação Logística (R\$)			Custo Total
	Transporte Interno	Tarifas Portuárias	Transporte Marítimo	
C1	14.102.532.776	2.759.013.588	9.942.837.542	26.804.383.906
C2	14.001.966.382	2.763.818.787	9.940.625.124	26.706.410.293
C3	13.680.368.852	2.750.171.790	9.942.430.706	26.372.971.348
C4	13.595.221.350	2.731.573.278	9.937.864.078	26.264.658.705
C5	13.656.169.306	2.758.433.805	9.971.928.508	26.386.531.619
C6	13.688.979.819	2.758.973.396	9.942.998.832	26.390.952.046
C7	13.120.944.152	2.754.838.238	9.943.982.800	25.819.765.190
C8	13.548.749.537	2.722.184.203	9.954.721.307	26.225.655.047
C9	12.910.732.582	2.744.536.759	9.961.090.812	25.616.360.153
C10	12.928.794.186	2.718.666.993	9.953.286.696	25.600.747.875

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Analizando a Tabela 8, é notório que o maior impacto em redução de custos observado no custo total em todos os cenários é oriundo da operação logística do transporte interno. Ou seja, para as tarifas portuárias a redução de custos entre cenários não passa de 1,4%, e para o transporte marítimo a redução de custos em todos os cenários foi inferior a 0,5%.

A diferença menos representativa entre os patamares de custos gerais portuários dos cenários avaliados pode ser explicada pela pequena diferença de tarifas entre os portos brasileiros (tais tarifas de elevação foram apresentadas na Tabela 5). Vale destacar que a única exceção quanto ao patamar de custos portuários é o porto de Santos, o qual por sua vez apresenta uma tarifa de aproximadamente R\$ 34 por tonelada, frente a uma média de R\$ 26 por tonelada entre todos os portos avaliados. Concomitantemente, esperava-se maiores economias em termos de transporte marítimo nos cenários avaliados; entretanto, os patamares de custos não apresentaram maiores economias por conta da pequena diferença geral entre os fretes marítimos dos portos do Sul e Sudeste em comparação com os portos do Norte, o que está apresentado na Tabela 5. Tal diferença pode ser explicada por dois fatores, sendo eles: 1) Os fretes marítimos com origem nos portos do Arco-Norte (Barcarena, Santarém, Itacoatiara, São Luís e Salvador) só apresentam custos significativamente mais baixos se comparados aos portos do Sul e Sudeste quando o destino é a Europa, isso pela menor distância marítima; já quando o destino é a Ásia (o mais representativo mercado consumidor dos grãos brasileiros), os fretes se equivalem ou

até mesmo são maiores, visto que a distância marítima para se evitar o canal do Panamá é, em média, maior; e 2) O calado (distância entre a quilha do navio e a linha de flutuação) dos portos do Norte, na maior parte do ano, só permite a tais portos operarem navios Panamax², ou seja, os mesmos navios da maior parte dos portos do Sul e Sudeste, não permitindo assim ganhos de escala, os quais por sua vez gerariam fretes marítimos menos custosos.

No mercado logístico brasileiro de contratação de fretes e operações logísticas de grãos, é usual a negociação de valores em R\$/t, o que por sua vez torna a negociação mais concreta e palpável aos agentes do setor. Desta forma, a Tabela 9 apresenta os custos com transporte interno, tarifas portuárias, transporte marítimo e custo total destas operações ponderados em R\$/t. Neste sentido, pode-se concluir que no cenário base, ou seja, o mais próximo da realidade do ano de 2017, o custo médio para se transportar dentro do território brasileiro uma tonelada de soja ou milho é de R\$ 147,81; já o custo médio de tarifaço porturia de R\$ 28,90 por tonelada e o custo do transporte martimo de R\$ 280,76 por tonelada. No cenrio de maior economia, ou seja, cenrio 10, tais custos so, respectivamente, R\$135,42 por tonelada, R\$ 28,48 por tonelada, R\$ 104,25 por tonelada e R\$ 268,15 por tonelada. Ou seja, para cada tonelada potencialmente escoada do produtor brasileiro at os portos de destino no mercado interno, tem-se uma economia de R\$ 12,61.

---

² Navios Panamax so navios graneleiros que comportam no mximo 80 mil toneladas, os mesmos recebem esse nome pois suas dimenses atingem o limite da eclusas presentes no canal do Panam (RODRIGUES, 2008).

Tabela 9. Custo para cada tonelada exportada por operação logística

Cenário	Custo por Operação Logística (R\$/t)			Custo Total
	Transporte Interno	Tarifas Portuárias	Transporte Marítimo	
C1	147,71	28,90	104,14	280,76
C2	146,66	28,95	104,12	279,73
C3	143,29	28,81	104,14	276,24
C4	142,40	28,61	104,09	275,10
C5	143,04	28,89	104,45	276,38
C6	143,38	28,90	104,15	276,43
C7	137,43	28,85	104,16	270,44
C8	141,91	28,51	104,27	274,70
C9	135,23	28,75	104,34	268,31
C10	135,42	28,48	104,25	268,15

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Figura 20 apresenta a representatividade de cada uma das operações logísticas dentro do custo logístico total para a soja e o milho exportado pelo Brasil nos cenários 1 e 10. Desta forma, em ambos os cenários, o transporte interno é o mais representativo dentro do escopo logístico, sendo que representa 53% e 50%, respectivamente, dos custos totais para os cenários 1 e 10. Entretanto, é notório que o cenário 10 proposto, além de resultar em uma significativa economia de custos logísticos, também proporcionaria uma redução de aproximadamente 3% na representatividade do transporte interno dentro dos custos totais.

Figura 20. Representatividade dos custos das operações logísticas dentro do custo logístico total
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

As principais conclusões do presente tópicos são: 1) os cenários que apresentaram maior redução potencial de custos logísticos são os cenários que propõem mudanças significativas no acesso aos portos de Barcarena e Santarém no Arco-Norte, ou seja, duplicação e pavimentação completa da BR-163 até Itaituba (PA) e construção e operação da ferrovia Ferrogrão entre Sinop (MT) e Itaituba (PA); 2) a maior parcela da redução de custos logísticos totais para todos os cenários é decorrente da redução de custos de transporte interno de soja e milho e; 3) Entre os cenários que propõem apenas aumento de capacidade das infraestruturas hoje existentes, o cenário que apresentou maior potencial de redução de custos logísticos é o cenário 4, o qual propõe o aumento concomitante de 50% nas capacidades intermodais e portuárias com relação ao cenário base.

4.2. Resultados Específicos

Passadas as análises genéricas no que tange aos custos logísticos totais por cenário avaliado, o presente tópico aborda os resultados específicos em torno de três subtópicos, sendo eles: 1) análise da “Fobagem”, custos logísticos por estado, região ou município para que a carga seja embarcada nas fazendas produtoras e posteriormente embarcada nos navios exportadores (no caso do presente estudo, foi considerada a soma do custo do transporte interno e tarifas portuárias de elevação e armazenagem nos portos); 2) utilização da intermodalidade, comparando, por cenário avaliado e terminal de transbordo intermodal, a utilização destes terminais e de suas especificidades e; 3) utilização dos portos, comparando, por cenário avaliado e porto exportadores, a utilização desses portos e suas especificidades.

4.2.1. Fobagem

A principal modalidade de contratação de soja e milho no mercado internacional é a *Free on Board* (Porto de Embarque Nomeado), na qual o vendedor deve entregar a mercadoria a bordo do navio nomeado pelo comprador, ou seja, o vendedor é responsável pelos custos referentes à solução logística com origem nas fazendas produtoras e destino no navio nomeado, contemplando assim os custos de transporte, transbordo, armazenagem portuária e tarifas portuárias. Vale destacar que no mercado logístico de soja e de milho, o termo “Fobagem” corresponde à responsabilidade jurídica e financeira do produtor ou *trader* em promover o envio do

produto das fazendas até o navio exportador, inclusive, nos próprios contratos de compra e venda essa responsabilidade é fixada. Desta forma, todos os custos da fobagem serão subtraídos da receita dos produtores.

A Tabela 10 apresenta a fobagem por cenário avaliado e estado produtor. Neste sentido, nota-se que os estados do Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais são os estados que apresentam maior dispêndio com transporte interno e tarifas portuárias, o que está justamente alinhado com o nível de produção de tais estados.

A Figura 21 apresenta o comparativo do custo total da fobagem para os principais estados produtores nos cenários 1, 4 e 10. Desta forma, é evidente que o cenário 10 se destaca, exclusivamente, pela representativa economia gerada nos custos do estado do Mato Grosso; já o cenário 4, o qual aumenta em 50% as capacidades portuárias e intermodais do cenário 1, apresenta reduções de custos menos representativas, mas presentes em todos os principais estados produtores brasileiros.

Figura 21. Fobagem para os principais estados produtores nos cenários 1, 4 e 10
Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Comparando-se o custo de fobagem do estado do Mato Grosso entre os cenários 1, 4 e 10, tem-se respectivamente um custo total para o estado de R\$ 6,48, 6,16 e 5,32 bilhões, sendo que a representatividade dos custos do estado do Mato Grosso diante do custo total do Brasil é de respectivamente 38,4%, 37,7% e 34,02% para os cenários 1, 4 e 10. Tais representatividades permitem mensurar com uma maior exatidão o tamanho demasiado da importância do estado do Mato Grosso no que tange aos custos logísticos em território brasileiro para a exportação de soja e de milho.

Concomitantemente, a redução de tal representatividade pode reduzir a vulnerabilidade da logística destes produtos.

Tabela 10. Fobagem por estado produtor e cenário avaliado

UF	Fobagem por estado e cenário (em 1.000 t)									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
BA	532.467	530.388	530.388	530.388	530.388	530.388	530.388	530.388	530.388	530.388
DF	67.875	67.875	67.875	67.875	67.875	67.875	67.875	67.875	67.875	67.875
GO	1.922.088	1.914.064	1.917.040	1.909.117	1.917.999	1.920.239	1.918.393	1.916.536	1.917.258	1.916.536
MA	146.771	138.874	146.412	138.666	131.929	146.412	144.823	131.433	131.433	131.433
MG	994.160	986.976	986.259	985.595	986.752	986.450	986.450	986.259	986.259	986.259
MS	1.567.675	1.567.675	1.503.383	1.499.488	1.567.675	1.567.675	1.567.675	1.567.675	1.567.675	1.567.675
MT	6.487.869	6.442.041	6.220.773	6.169.675	6.086.029	6.088.465	5.525.912	5.945.707	5.331.081	5.324.336
PA	156.256	153.921	154.472	146.700	146.055	154.063	150.749	147.010	145.249	144.908
PI	115.030	113.832	115.030	112.127	112.127	115.030	114.139	110.769	110.769	110.769
PR	2.502.401	2.502.401	2.436.003	2.436.606	2.502.401	2.502.401	2.502.401	2.502.401	2.502.401	2.502.401
RO	134.773	134.773	134.773	134.773	134.773	134.773	134.773	134.773	134.773	134.773
RR	5.196	5.196	5.196	5.196	5.196	5.196	5.196	5.196	5.196	5.196
RS	1.280.651	1.261.482	1.280.429	1.261.260	1.280.651	1.280.651	1.280.651	1.280.651	1.280.651	1.280.651
SC	264.074	264.074	264.014	264.014	264.074	264.074	264.074	264.074	264.074	264.074
SE	6.262	6.262	6.262	6.262	6.262	6.262	6.262	6.262	6.262	6.262
SP	481.371	481.371	465.606	465.606	481.371	481.371	481.371	481.371	481.371	481.371
TO	196.628	194.579	196.628	193.449	193.045	196.628	194.650	192.553	192.553	192.553

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Ainda na comparação entre os cenários 1, 4 e 10, os estados de São Paulo, Pará e Maranhão se destacam na redução de custos de fobagem quando se avalia o cenário 4. No que tange ao cenário 10, os custos totais para os estados do Tocantins, Maranhão e Pará se destacam do ponto de vista de redução de custos, ou seja, nestes estados a redução de custo é significativa. O custo total de fobagem para os estados produtores menos representativos estão apresentados na Figura 22.

Figura 22. Fobagem para os demais estados produtores nos cenários 1, 4 e 10
Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Destaca-se que em todos os cenários avaliados a economia absoluta mais significativa é referente aos custos da fobagem no estado do Mato Grosso, chegando ao patamar de aproximadamente R\$ 1 bilhão no cenário 10. Além disso, como está apresentado na Figura 23, na maior parte dos cenários avaliados, a economia gerada na fobagem do estado do Mato Grosso é superior a 90% da economia total do Brasil.

Figura 23. Economia do estado do Mato Grosso nos custos de fobagem e sua representatividade
Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Tabela 11. Economia por estado e cenário avaliado

UF	Economia por estado e cenário (em R\$ 1.000)								
	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
BA	2.079	2.079	2.079	2.079	2.079	2.079	2.079	2.079	2.079
DF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GO	8.024	5.048	12.971	4.089	1.849	3.695	5.552	4.830	5.552
MA	7.897	359	8.105	14.842	359	1.948	15.338	15.338	15.338
MG	7.184	7.901	8.565	7.408	7.710	7.710	7.901	7.901	7.901
MS	-	64.292	68.187	-	-	-	-	-	-
MT	45.828	267.096	318.194	401.840	399.404	961.957	542.162	1.156.788	1.163.533
PA	2.335	1.784	9.556	10.201	2.193	5.507	9.246	11.007	11.348
PI	1.198	-	2.903	2.903	0	891	4.261	4.261	4.261
PR	-	66.398	65.795	-	-	-	-	-	-
RO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS	19.169	222	19.391	-	-	-	-	-	-
SC	-	60	60	-	-	-	-	-	-
SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SP	-	15.765	15.765	-	-	-	-	-	-
TO	2.049	-	3.179	3.583	-	1.978	4.075	4.075	4.075

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Figura 24 apresenta o custo da fobagem por estado para o cenário 1 em R\$/t (tais dados estão apresentados na Tabela 12 para todos os cenários avaliados). Destacam-se, com custo por tonelada superior a R\$ 200, os estados de Roraima, Mato Grosso e Rondônia. E os estados que se destacam por apresentarem os mais baixos custos de fobagem por tonelada são: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Ainda analisando a Figura 24 devido a suas dimensões continentais, o Brasil apresenta tamanha inconsistência no custo de fobagem entre os estados brasileiros, haja visto, por exemplo, que o custo referente ao cenário 1 para o estado do Mato Grosso – maior produtor brasileiro de soja e de milho – é de R\$ 253,76 por tonelada; concomitantemente, o custo do estado do Paraná – segundo maior produtor brasileiro – é de R\$ 129,24 por tonelada, ou seja, os produtores do Mato Grosso pagam em média 96% a mais por tonelada pela fobagem da soja e do milho quando comparado aos produtores do Paraná.

Figura 24. Custo da fobagem ponderada por estado para o cenário 1
Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Desta forma, fica evidente o déficit de competitividade dos produtores brasileiros que estão localizados a longas distâncias dos portos do Sul e Sudeste, tais como Roraima, Rondônia e Mato Grosso

Tabela 12. Fobagem média ponderada por tonelada, estado e cenário

UF	Fobagem por estado e cenário (em R\$/t)									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
BA	182,36	181,65	181,65	181,65	181,65	181,65	181,65	181,65	181,65	181,65
DF	201,58	201,58	201,58	201,58	201,58	201,58	201,58	201,58	201,58	201,58
GO	194,96	194,15	194,45	193,65	194,55	194,78	194,59	194,40	194,47	194,40
MA	141,85	134,22	141,50	134,02	127,50	141,50	139,97	127,03	127,03	127,03
MG	170,86	169,62	169,50	169,38	169,58	169,53	169,53	169,50	169,50	169,50
MS	190,81	190,81	182,99	182,52	190,81	190,81	190,81	190,81	190,81	190,81
MT	253,76	251,97	243,32	241,32	238,05	238,14	216,14	232,56	208,52	208,25
PA	144,49	142,33	142,84	135,65	135,06	142,46	139,40	135,94	134,31	134,00
PI	167,81	166,06	167,81	163,57	163,57	167,81	166,51	161,59	161,59	161,59
PR	129,24	129,24	125,81	125,85	129,24	129,24	129,24	129,24	129,24	129,24
RO	213,49	213,49	213,49	213,49	213,49	213,49	213,49	213,49	213,49	213,49
RR	296,88	296,87	296,88	296,88	296,87	296,88	296,87	296,87	296,87	296,87
RS	102,27	100,74	102,25	100,72	102,27	102,27	102,27	102,27	102,27	102,27
SC	109,95	109,95	109,92	109,92	109,95	109,95	109,95	109,95	109,95	109,95
SE	134,56	134,56	134,56	134,56	134,56	134,56	134,56	134,56	134,56	134,56
SP	130,51	130,51	126,23	126,23	130,51	130,51	130,51	130,51	130,51	130,51
TO	153,13	151,54	153,13	150,66	150,34	153,13	151,59	149,96	149,96	149,96

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Figura 25 apresenta o custo da fobagem por tonelada para os estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso, comparando o cenário 1 – cenário base – e o cenário 10 – o que apresentou mais economia para a fobagem do estado do Mato Grosso. Neste sentido, nota-se que o custo da fobagem por tonelada se aproxima de forma significativa no cenário 10, diminuindo assim a discrepância de competitividade do estado do Mato Grosso comparado aos seus estados vizinhos.

Figura 25. Custo da fobagem por tonelada para os estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Dentro dos custos logísticos totais abordados pelo presente estudo e também no âmbito da fobagem, o custo do frete referente ao transporte interno é sem dúvida protagonista; neste sentido, as Figuras de 26 a 35 apresentam mapas que contemplam o custo de transporte por município produtor brasileiro para os 10 cenários avaliados.

Figura 26. Frete ponderado por município no cenário 1
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Figura 26, ilustra o frete por município produtor brasileiro no cenário base (C1), a princípio, nota-se que justamente, o principal estado produtor brasileiro, Mato Grosso, é o estado que apresenta menor competitividade no âmbito do dispêndio com frete. Além dos frete por município, o mapa apresentado pela Figura 26 ilustra os portos exportadores e terminais intermodais utilizados no presente estudo.

Figura 27. Frete ponderado por município no cenário 2
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Nota-se uma significativa semelhança visual entre os mapas presentes na Figura 26 e 27, os quais promovem uma comparação visual do frete por município entre os cenários 1 e 2. Isso ocorre pois o cenário 2 é o que apresenta menor economia potencial quando comparado ao cenário 1, ou seja, o aumento isolado de capacidade intermodal no Brasil não apresenta significativa economia no transporte quando comparado aos demais cenários avaliados.

Figura 28. Frete ponderado por município no cenário 3
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

O Mapa que se refere ao frete por município para o cenário 3 se apresenta na Figura 28, desta forma, destaca-se que o norte e noroeste do Mato Grosso, são as regiões que apresentam mais significativos impactos negativos no valor do frete municipal quando comprado ao cenário base (cenário 1).

Figura 29. Frete ponderado por município no cenário 4
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

O cenário 4 - o qual propõem ampliação em 50% da capacidade portuária e intermodal nas infraestruturas já existem no escopo logístico de grãos no Brasil – apresenta, através da análise da Figura 29, reduções significativas no preço do frete por município, principalmente no Mato Grosso como um todo e também nas regiões periféricas a terminais intermodais de transbordo, como é o caso de Araguari (MG) e Palmeirante (TO).

Figura 30. Frete ponderado por município no cenário 5
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Figura 20 apresenta o frete por município produtor para o cenário 5, dessa forma, destaca-se o impacto da ampliação da capacidade de exportação do Arco-Norte em 100%, impactando assim, principalmente, na [potencial redução do frete para municípios do Mato Grosso, Oeste da Bahia, Maranhão e Tocantins (principais origens dos grãos exportados por meio das infraestruturas do Arco-Norte)].

Figura 31. Frete ponderado por município no cenário 6
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

O frete por município para o cenário 6, apresentado na Figura 31, apresenta uma maior equalização nos fretes municipais no estado do Mato Grosso quando comparado ao cenário base (cenário 1).

Figura 32. Frete ponderado por município no cenário 7
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

O maior impacto no âmbito da redução de custos de fretes quando se compara o cenário 7 ao cenário 1 é sem duvida o entorno do potencial terminal intermodal de Sinop no Mato Grosso, tal comparativo pode ser contatado, visualmente, através da comparação da Figura 32 com a Figura 26, nota-se assim, que a cor, referente ao custo municipal do frete, é bem menos intensa nos municípios ao redor de Sinop na Figura 32.

Figura 33. Frete ponderado por município no cenário 8
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Já na Figura 33, o destaque no que tange a redução do custo municipal no frete para o cenário 8 é a região norte do estado do Mato Grosso, haja visto que a melhoria nas condições da BR-163 com destino ao terminal de Itaituba impactam principalmente os fluxos que originalmente são destinados a esse corredor.

Figura 34. Frete ponderado por município no cenário 9
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Assim como visto na Figura 32, na Figura 34 os municípios ao redor de Sinop também se destacam no âmbito da redução de custos, afinal, ambos os cenários avaliados, cenário 7 e cenário 9, contam com a implementação da ferrovia Ferrogrão.

Figura 35. Frete ponderado por município no cenário 10
 Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Figura 35 apresenta o frete por município para o cenário 10, o qual, vale lembrar, é o que apresenta o melhor desempenho financeiro entre os cenários avaliados, neste sentido, destaca-se a redução de custos para o trecho produtivo que vai de Sinop até Rondonópolis.

4.2.2. Utilização da Intermodalidade

A Tabela 13 apresenta a utilização da intermodalidade por terminal de transbordo para todos os cenários analisados; além disso, a última coluna da tabela relembra as capacidades efetivas de transbordo para o ano de 2017.

Quanto ao cenário base (cenário 1), constata-se que apenas os terminais de São Simão (GO), Araguari (MG) e Cruz Alta (RS) utilizam toda a capacidade disponível a partir das restrições do modelo, as quais por sua vez correspondem às movimentações efetivas do ano de 2017. Para explicar tal fato, deve-se destacar que as vantagens da intermodalidade não consiste apenas nos custos mais baixos de transporte. Assim, pode-se destacar duas vantagens, sendo elas: 1) armazenagem, a partir do momento que o produtor ou *trader* optar por utilizar os serviços intermodais ele também transfere a responsabilidade da armazenagem neste terminal de transbordo por períodos pré-definidos em contrato; e 2) os contratos ferroviários tendem a fixar volumes e tarifas no longo prazo, ou seja, são contratos que garantem o volume demandado e preço programado por seis meses, um ano ou até períodos superiores, minimizando assim os riscos dos contratantes de transporte e aumentando a previsibilidade.

Entre os cenários que não promovem mudanças estruturais no acesso aos portos do Arco Norte (C1, C2, C3 e C4), o cenário 4 é o que mais se destaca no que tange à utilização da capacidade intermodal, visto que tal cenário efetiva aproximadamente 48 milhões de toneladas transportadas através dos modais ferroviário ou hidroviário. Tal montante é significativamente superior aos 34 milhões aproximados escoados por meio da intermodalidade no cenário 1. Ainda analisando o cenário 4, os terminais de Araguari (MG), Maringá (PR), Porto Velho (RO) e Rondonópolis (MT), aumentaram o escoamento intermodal em, respectivamente, 2.614, 3.938, 1.488 e 2.344 mil toneladas.

Os cenários C7, C9 e C10 são os cenários que mais se destacam entre todos os cenários avaliados, sendo que todos eles apresentam transporte intermodal superior a 50 milhões de toneladas. Além do volume intermodal, os três cenários citados apresentam mais um ponto em comum muitíssimo importante: todos incluem a Ferrogrão no escopo logístico brasileiro. Desta forma, a parcela mais significativa da ampliação de volume intermodal nestes cenários corresponde aos terminais de Itaituba (PA) e de Sinop (MT).

Tabela 13. Volume escoado por terminal de transbordo e cenário

Terminal	Volume Escoado por Terminal e Cenários (em 1.000 t)										Capacidade
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
Araguari (MG)	5.228	6.129	5.228	7.842	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228
Cruz Alta (RS)	1.917	2.875	1.917	2.875	1.917	1.917	1.917	1.917	1.917	1.917	1.917
Itaituba (PA)	5.019	4.223	5.763	5.763	7.684	9.058	11.000	13.839	11.000	14.207	7.116
Maringá (PR)	4.387	4.387	6.168	8.325	4.387	4.387	4.387	4.387	4.387	4.387	6.168
Palmeirante (TO)	2.979	3.999	2.979	3.320	3.232	2.979	2.979	1.867	2.548	1.867	5.958
Porto Franco (MA)	1.586	2.379	1.586	2.379	3.172	1.586	1.586	3.172	3.172	3.172	3.172
Porto Velho (RO)	3.820	3.820	3.820	5.308	6.164	3.820	3.820	4.794	4.876	4.743	7.640
Rondonópolis (MT)	7.929	8.585	11.453	10.273	7.290	7.560	6.964	4.487	6.216	4.171	14.440
São Simão (GO)	1.480	2.220	1.480	2.220	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480
Sinop (MT)	-	-	-	-	-	-	11.000	-	11.000	11.000	-
Volume Intermodal	34.345	38.617	40.394	48.305	40.554	38.015	50.361	41.171	51.824	52.172	53.119

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Tabela 14 apresenta a distância máxima de captação dos terminais de transbordo avaliados na presente pesquisa para todos os cenários avaliados, ou seja, qual a distância do município mais distante que envia soja ou milho ao terminal de transbordo em questão (pode-se chamar essa distância de raio de captação).

Chama atenção na Tabela 14 a inexistência de distância máxima de captação rodoviária para o terminal de Itaituba nos cenários C7 e C9. Tal fato ocorre pois, nesses cenários, Itaituba não recebe fluxo rodoviário, ou seja, é estritamente atendido pela Ferrogrão.

Entretanto, o grande destaque no que tange à distância máxima de captação dos terminais é a redução significativa do raio de captação do terminal de Rondonópolis (MT) a partir do momento que o modelo adota como premissa a melhoria do acesso aos portos do Arco-Norte. Tal redução do raio de captação está diretamente ligada à queda no fluxo intermodal do terminal de Rondonópolis (MT), apresentado na Tabela 13.

Dessa forma, um destaque importante do presente tópico é a competição direta entre o terminal de Rondonópolis (MT) e o complexo portuário de Barcarena (PA) e de Santarém (PA) (incluindo seus terminais intermodais de acesso).

Tabela 14. Distância máxima de captação dos terminais intermodais de transbordo por cenário

Terminal de Transbordo	Distância máxima de captação por terminal e cenário (km)									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Araguari	707	707	753	753	707	707	753	707	707	707
Cruz Alta	204	212	204	212	204	204	204	204	204	204
Itaituba	1404	1404	1404	1404	1404	1345	-	1527	-	1356
Maringá	747	747	862	862	747	747	747	747	747	747
Palmeirante	1148	1208	1013	1013	1208	1013	1013	1013	1013	1013
Porto Franco	1100	1317	1100	1100	1259	1100	1100	1184	1184	1184
Porto Velho	1088	1088	1089	1412	1417	1089	1089	1089	1351	1089
Rondonópolis	634	634	634	612	605	634	634	480	480	480
São Simão	482	482	882	882	482	482	882	482	882	482
Sinop	-	-	-	-	-	-	408	-	382	484

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

4.1.1. Portos Exportadores

A Tabela 15 mostra o volume exportado por porto de cenário avaliado, sendo que o primeiro destaque é o aumento na exportação do porto de Paranaguá nos cenários C3 e C4, lembrando que tais cenários têm em comum o aumento da capacidade portuária para todos os portos do Brasil em 50%. O aumento da exportação do porto de Paranaguá nestes cenários é concomitante à redução da exportação do porto de Santos. Dessa forma, pode-se afirmar que o porto de Paranaguá é mais competitivo quando comparado ao porto de Santos no que tange aos custos logísticos. Um exemplo desta competitividade está ilustrada na Tabela 6: o frete com destino a Paranaguá é aproximadamente 11% menor que o frete com destino a Santos para uma distância de 1.000 km. Portanto, o porto de Santos apresenta como sua maior característica competitiva a sua alta capacidade e produtividade, o que por sua vez acaba compensando os custos e o colocando como a única alternativa real de exportação.

O baixo fluxo de exportação do porto de Barcarena também se destaca nos cenários 3 e 4, visto que, a partir do momento que a capacidade do porto de Santarém é aumentada em 50%, o fluxo acaba se alocando à movimentação de menor custo intermodal, o qual diz respeito à rota hidroviária entre Itaituba e Santarém, em detrimento da rota Itaituba com destino a Barcarena.

Outro destaque importante é o aumento na exportação dos portos de Barcarena e Santarém nos cenários C8, C9 e C10, o que é resultado do aumento do embarque através da intermodalidade (Itaituba e Sinop), como pode ser visto na Tabela 13. O aumento da exportação de tais portos ocorre, principalmente, em detrimento do fluxo de exportação dos portos de Santos e São Luís.

Em todos os cenários que melhoram o acesso aos portos de Santarém e Barcarena, ou seja, C6 a C10, o porto de São Luís apresentou seu fluxo de exportação reduzido com relação ao C1, mostrando assim que os portos de Barcarena e Santarém não competem somente com o terminal de Rondonópolis, mas também com o porto de São Luís e os terminais de Palmeirante e Porto Franco.

Tabela 15. Volume escoado por porto e cenário

Volume Porto	Volume Escoado por Porto e Cenário (em 1.000 t)										Capacidade ¹
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
Barcarena (PA)	5.877	4.976	559	449	416	6.192	7.480	6.444	3.833	6.811	7.480
Itacoatiara (AM)	3.820	3.820	3.820	5.308	6.164	3.820	3.820	4.794	4.876	4.743	3.820
Paranaguá (PR)	14.956	14.956	22.434	22.434	14.956	14.956	14.956	14.956	14.956	14.956	14.956
Rio Grande (RS)	12.838	12.838	12.596	12.596	12.838	12.838	12.838	12.838	12.838	12.838	12.838
Salvador (BA)	3.198	3.198	3.125	3.043	3.043	3.198	3.081	3.043	3.043	3.043	3.198
Santarém (PA)	3.842	3.842	5.763	5.763	7.684	3.842	3.842	7.684	7.684	7.684	3.842
Santos (SP)	30.283	30.283	26.162	23.445	30.283	30.283	30.283	27.454	29.301	27.137	30.283
S. Francisco (SC)	7.398	7.398	8.519	7.996	7.398	7.398	7.398	7.398	7.398	7.398	7.398
São Luís (MA)	8.032	8.032	7.267	6.596	7.462	7.717	6.545	5.633	6.315	5.633	8.032
Vitória (ES)	5.228	6.129	5.228	7.842	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228	6.129
Volume Total	95.472	95.472	95.473	95.472	95.472	95.472	95.471	95.472	95.472	95.471	97.976

¹ capacidade efetiva de transbordo no ano de 2017

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

A Tabela 16 apresenta a área de captação rodoviária dos portos brasileiros exportadores de soja e de milho por cenário avaliado, ou seja, qual a distância máxima entre os municípios de origem da carga e seus respectivos portos de destino.

Analizando o cenário 1, nota-se que os portos que apresentam maiores distâncias máximas de captação são os portos de Salvador (BA) e São Luís (MA), cujas distâncias são, respectivamente, 2.300 e 2.199 km. Já os portos cujas áreas de captação rodoviária são menores são Rio Grande e São Francisco, mostrando, assim, que tais portos devem ser focados na demanda por exportação dos próprios estados produtores do Sul, principalmente Rio Grande do Sul e Paraná. Ainda com relação à região Sul e ao cenário 1, é destaque que a área máxima de captação do porto de Paranaguá é maior, ou seja, 1.195 km, o que está alinhado ao excedente de capacidade deste porto quando comparado à exportação dos estados do Sul. Dessa forma, o porto de Paranaguá acaba atendendo à demanda por exportação do estado do Mato Grosso do Sul.

Destaca-se, que o porto de Barcarena (PA), no cenário otimizado 1, não utiliza toda a capacidade de embarque assumida pelo estudo, a qual é o recorde de exportação do porto nos últimos três anos, tal fato evidencia que não é necessário somente existir capacidade portuária, ou seja, para que os custos sejam minimizados é necessário adequados acessos aos portos exportadores.

A representativa redução da distância máxima de captação do porto de Barcarena (PA) nos cenários C5, C7, C8, C9 e C10 chama atenção, visto que tal redução chega a atingir o nível de aproximadamente 360 km. Isso ocorre pois, nestes cenários, Barcarena é mais abastecido pela intermodalidade e somente recebe fluxos rodoviários dos municípios adjacentes ao porto. É praticamente o mesmo caso do porto de Santarém nos cenários C8 e C10, visto que nestes casos o porto não recebe fluxo rodoviário algum, sendo abastecido exclusivamente pelas opções intermodais.

Tabela 16. Distância máxima de captação rodoviária por porto e cenário

Porto Exportados	Distância máxima de captação por porto e cenário (km)									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Barcarena (PA)	1005	963	963	963	356	963	273	273	273	273
Paranaguá (PR)	1195	1195	1511	1259	1195	1195	1195	1195	1195	1195
Rio Grande (RS)	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930
Salvador (BA)	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
Santarém (PA)	1450	1450	1747	1598	1655	1773	697	-	1252	-
Santos (SP)	1592	1592	1592	1654	1592	1592	1654	1654	1654	1654
São Francisco (SC)	860	860	1408	860	860	860	860	860	860	860
São Luís (MA)	2199	1982	2199	1684	1982	2199	1982	1684	1684	1684

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

4.1.2. Transporte Marítimo

O comportamento de fluxos marítimos entre os portos de origem e os países de destino do milho e da soja brasileira é semelhante entre os cenários analisados. Tal comportamento está ilustrado na Tabela 17, a qual apresenta o fluxo de exportação por destino, porto de origem e cenário avaliado.

A Ásia é o polo consumidor que apresenta a maior gama de portos brasileiros que atendem, haja vista sua representatividade no que tange ao volume demandado de soja e milho. Analisando o cenário 1, os portos de Santos (SP), Paranaguá (PR), Rio Grande (RS) e São Francisco (SC) são responsáveis, respectivamente, por 40%, 20%, 15% e 10% das exportações para a Ásia, ou seja, juntos respondem por aproximadamente 85% do volume de soja e de milho que a Ásia demanda do Brasil. A baixa representatividade dos portos do Norte e Nordeste no que tange ao embarque com destino aos países asiáticos é explicada pelas menores distâncias e consequentes fretes marítimos mais vantajosos entre tais portos e os países europeus; concomitantemente, os fretes marítimos do Norte e Nordeste com destino a Ásia não são tão vantajosos, afinal, tais rotas marítimas costumam ser efetivadas através da rota que contorna a África do Sul (Cabo da Boa Esperança) e com isso a distância é significativamente maior quando comparada aos portos do Sul e Sudeste. Outro fator que limita a competitividade das rotas marítimas com origem no Norte e Nordeste é a baixa disponibilidade de logística colaborativa, ou seja, muito diferente do que acontece no porto de Santos, que atrai um número maior de navios carregados

com produtos demandados pelo país e com isso o navio pratica frete de retorno com a soja e o milho brasileiro.

Ainda analisando a Tabela 17, nota-se que o grande foco da exportação com destino aos países do Oriente Médio é o porto de Vitória, chegando a representar, nos cenários C1, C2, C3, C5 e C6, 100% das exportações com destino ao Oriente Médio.

Tabela 17. Fluxo marítimo por cenário, porto de origem e mercado consumido

Destino	Porto Origem	Fluxo por cenário, porto de origem e mercado consumido (em 1.000 t)									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Ásia	Barcarena (PA)	320	-	-	-	-	320	437	-	-	-
	Paranaguá (PR)	14.956	14.956	22.434	22.434	14.956	14.956	14.956	14.956	14.956	14.956
	Rio Grande (RS)	12.838	12.838	12.596	12.596	12.838	12.838	12.838	12.838	12.838	12.838
	Salvador (BA)	3.198	3.198	3.125	3.043	3.043	3.198	3.081	3.043	3.043	3.043
	Santarém (PA)	3.842	3.261	-	708	4.318	3.842	3.842	7.147	5.299	7.463
	Santos (SP)	30.283	30.283	26.162	23.445	30.283	30.283	30.283	27.454	29.301	27.137
	São F. do Sul (SC)	7.398	7.398	8.519	7.996	7.398	7.398	7.398	7.398	7.398	7.398
	Vitória (ES)	5.228	6.129	5.228	7.842	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228	5.228
Europa	Barcarena (PA)	5.557	4.976	559	-	416	5.872	6.392	4.880	2.951	5.247
	Itacoatiara (AM)	3.820	3.820	3.820	5.308	6.164	3.820	3.820	4.794	4.876	4.743
	Santarém (PA)	-	581	5.763	4.904	3.367	-	-	538	2.385	221
	São Luís (MA)	835	835	70	-	265	520	-	-	-	-
Oriente Médio	Barcarena (PA)	-	-	-	449	-	-	652	1.564	882	1.564
	Santarém (PA)	-	-	-	152	-	-	-	-	-	-
	São Luís (MA)	7.197	7.197	7.197	6.596	7.197	7.197	6.545	5.633	6.315	5.633

Fonte: Elaborado pelo autor baseado na pesquisa (2018)

Dante dos resultados a respeito do transporte marítimo apresentados no presente tópico, destaca-se a melhor alocação entre os pares de origem destino para os cenários analisados. Sendo que os destinos europeus e no Oriente Médio devem sempre concentrar os fluxos de exportação nos portos do norte e nordeste e os destinos asiáticos faz mais sentido, economicamente, o atendimento por parte dos portos do Sul e Sudeste, isso é claro, considerando os comportamentos de preço de frete e rotas marítimas atuais.

5. Considerações Finais

Através da estruturação de um modelo matemático de programação linear, pode-se comparar cenários caracterizados pelo incremento ou melhoria de infraestruturas logísticas para a exportação de soja e milho do Brasil. Além disso, pode-se captar e documentar uma série de indicadores que por sua vez alimentaram o modelo estruturado, tais como, capacidade portuária e intermodal, fretes rodoviários, intermodais e marítimos, localização das infraestruturas já existentes, entre outras premissas utilizadas. Dessa forma, não só o comparativo de cenários, mas também o modelo matemático desenvolvido podem se consolidar como um importante ferramental no que tange o gerenciamento e priorização de investimentos, assim como pode promover uma reavaliação da origem da soja e do milho brasileiro com destino a exportação.

Como sugestão de investimento oriundo da presente pesquisa, é importante destacar três opções que tendem a acarretar melhores resultados gerais no âmbito financeiro, sendo eles: cenário 10 (Implementação da Ferrogrão, duplicação da BR-163 e ampliação da capacidade do arco-norte); cenário 9 (Implementação da Ferrogrão e ampliação da capacidade do arco-norte); cenário 7 (Implementação da Ferrogrão) e cenário 8 (duplicação da BR-163 e ampliação da capacidade do arco-norte), lembrando que tais cenários apresentaram as seguintes potenciais economias: C10 (R\$ 1,203 bilhões); C9 (R\$ 1,188 bilhões); C7 (R\$ 0,984 bilhões) e C8 (R\$ 0,578 bilhões). Desta forma, diante dos custos de implantação das infraestruturas de transporte e os potenciais retornos econômicos, sugere-se que Ferrogrão e duplicação da BR-163 não devem ocorrer ao mesmo tempo, afinal, uma das obras represaria os potenciais ganhos da outra por se caracterizarem pelas mesmas rotas. Portanto, sugere-se que os focos de investimento estejam depositados na implementação da Ferrogrão e ampliação da capacidade do arco-norte.

É notório que a palavra “integração” deve ser protagonista no que tange ao investimento na logística, haja visto, por exemplo, a tamanha redução de custos gerada com a pavimentação e duplicação completa da BR-163 até Itaituba (PA), ou o potencial decréscimo financeiro gerado com a construção e operação da Ferrogrão,. Afinal, o impacto de um investimento portuário, como é o caso dos investimentos da iniciativa privada nos portos do Arco-Norte nos últimos anos, só é potencializado a partir do momento que os outros elos da cadeia logística também ganhem seu devido

foco, ou seja, neste caso, é necessário o investimento concomitante em capacidade portuária e melhorias no acesso para que a potencial redução de custos logísticos atinja o patamar de R\$ 1,2 bilhão por ano, como é visto no comparativo entre o cenário 1 e 10 no presente estudo.

A palavra “integração” não deve inspirar somente os investimentos, mas também as iniciativas e principalmente os agentes promotores destas iniciativas. Mais do que nunca, para que o agronegócio continue prosperando, os agentes públicos e privados devem se integrar de modo a maximizar, através de suas ações, a competitividade logística do setor agrícola frente à demasiada competitividade do mercado internacional de *commodities*.

É mais do que provado que embasar projetos, principalmente de investimento, em estudos técnicos e isentos como este, diminui os riscos e garante uma melhor eficácia e retorno das ações que se consolidam. Mais do que isso, saber focar e priorizar é fundamental para que se possa colher os frutos o mais rápido possível, e que esses frutos tragam vantagens para um país que se vangloria pelo seu nível de produtividade no agronegócio.

O agronegócio e o Brasil são sedentos por melhorias estruturais na cadeia logística; portanto, espera-se que as melhorias se consolidem em espaços de tempo adequados ao recorrente e significativo crescimento da produção agrícola brasileira.

Por fim, vale reconhecer que a presente dissertação, apesar de ter trazido resultados inéditos e fundamentais para um melhor planejamento da infraestrutura logística no país, deve ser tomada como um primeiro estudo amplo sobre o tema. Sugere-se, nesse sentido, que novas pesquisas possam ampliar a análise aqui conduzida, visando, especialmente, eliminar eventuais limitações da presente pesquisa. Dentre as limitações observadas, estão 1) no que tange aos portos e terminais de transbordo foi abordado só o critério de capacidade na pauta de melhorias nos cenários propostos; entretanto, melhorias relacionadas a processos teriam efeitos interessantes do ponto de vista da minimização de custos. Pode-se usar, por exemplo, a redução do tempo de espera para descarregar, fator esse que encarece o preço dos fretes com destinos a portos e terminais; 2) também seriam interessantes análises projetadas, ou seja, trabalhar com as expectativas de oferta de soja e de milho para os próximos anos, de modo a sugerir adaptações e ampliações do escopo logístico nacional focado no aumento da produção; 3) agregar as operações de transporte

rodoviário, transporte intermodal, custos portuários e transporte marítimo à operação de armazenagem, a qual é tão importante quanto as outras operações; 4) Utilização de variáveis dummy's para regiões de origem e pólos de destino no que tange a elaboração das curvas de fretes rodoviário e 5) Utilização de capacidades portuárias divulgadas pelos próprios terminais exportadores, em detrimento da adoção do máximo volume exportado por ano como capacidade portuária.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEO VEGETAIS. **Estatística do setor**. Disponível em: < <http://www.abiove.org.br/> > Acesso em: 03 jul. 2016.
- ALMEIDA, Fabrício Moraes; DE SÃO PEDRO FILHO, Flávio; BATISTA, Rodrigo. Processo decisório aplicado na logística de transporte inter-modal marítimo-rodoviário. **InterSciencePlace**, v. 1, n. 12, 2015.
- AMARAL, Mônica do; ALMEIDA, Marina Soares; MORABITO, Reinaldo. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 2, p. 717-732, 2012.
- ANTT, **Agência Nacional dos Transportes Terrestres**. Concessões. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2016.
- ASSIS, T. F. D., GONÇALVES, D. N. S., SILVA, M. D., & AMORIM, J. C. C.
- ASSIS, Tássia Faria de et al. Aplicação de indicadores de sustentabilidade no estudo de alternativas de rota para a exportação da soja da região norte do mato grosso. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. Páginas 55-70, 2015.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos / logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2006.
- BINI, Dienice Ana; CANEVER, Mário Duarte; DENARDIM, Anderson Antônio. Correlation and causality between the prices of commodities and energy. **Nova Economia**, v. 25, n. 1, p. 143-160, 2015.
- BORGES-JÚNIOR, Dermeval Martins; PINTO, Kleber Carlos Ribeiro. Rede de fluxo de custo mínimo dos grãos de soja do vetor centro-sudeste do brasil para a exportação. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 824-835, 2016.
- Branco, J. E. H., Caixeta Filho, J. V., Xavier, C. E. O., Lopes, R. L., & Gameiro, A. H. Desenvolvimento de modelo matemático de otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor centro-oeste. **Informe Gepec**, v. 14, n. 1, p. 84-100, 2010.
- CASTRO, Jose Augusto. **Exportação Aspectos práticos e operacionais**. Edições Aduaneiras, 1999.
- CASTRO, César Nunes de. O Agronegócio e os Desafios do Financiamento da Infraestrutura de Transportes no Brasil. 2015.
- CICOLIN, Lucas de Oliveira Melo; OLIVEIRA, Andréa Leda Ramos de. Avaliação de desempenho do processo logístico de exportação do milho brasileiro: uma

aplicação da análise envoltória de dados–DEA. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 3, p. 30-34, 2016.

CNT, **Confederação Nacional do Transporte**. Plano Nacional do Transporte 2006. Disponível em: < <http://www.cnt.org.br/> >. Acesso em: 10 de Set. de 2016.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

CORREA, Vivian Helena Capacle; RAMOS, Pedro. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 2, p. 447-472, 2010.

CUNHA, Claussia Neumann. Reforma da Logística Portuária no espaço brasileiro. **Revista Grifos**, v. 25, n. 40, p. 183-207, 2016.

CUNHA, Roberto César; ESPÍNDOLA, Carlos José. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, v. 11, n. 1, 2015.

DNIT, **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte**. Hidrovia do Tapajós. Disponível em: <www.dnit.gov.br/hidrovias/hidrovias-interiores/hidrovia-do-tapajos>. Acesso em: 15 de ago de 2016.

FAGUNDES, Jorge. Economia institucional: custos de transação e impactos sobre política de defesa da concorrência. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 2, p. 119-144, 1997.

FAGUNDES, Mayra Batista Bitencourt et al. Impactos da produção de soja na economia de Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 111-122, 2015.

FAVRO, Jackelline; CALDARELLI, Carlos Eduardo; CAMARA, Marcia Regina Gabardo da. Modelo de Análise da Oferta de Exportação de Milho Brasileira: 2001 a 2012. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 3, p. 455-476, 2015.

FIGUEIREDO, Adelson Martins; DOS SANTOS, Maurinho Luiz; LÍRIO, Viviani Silva. Análise de market-share e fontes de variação das exportações brasileiras de soja. **Revista de Economia e Agronegócio–REA**, v. 2, n. 3, 2015.

FIGUEIREDO, Adelson Martins; DOS SANTOS, Maurinho Luiz; LÍRIO, Viviani Silva. Diferenciação por origem e substituição nas exportações de Soja em grãos do Brasil, dos EUA e da Argentina. **Revista de Economia e Agronegócio–REA**, v. 2, n. 4, 2015.

FLEURY, P. F.. Logística empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas. 2006.

Galvão, J. C. C., Miranda, G. V., Trogello, E., & Fritsche-Neto, R.. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Ceres**, v. 61, n. 7, 2015.

- HIRAKURI, Marcelo H.; LAZZAROTTO, Joelsio J. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. **Londrina, PR: EMBRAPA**, 2011.
- IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** – Sistema de recuperação automática. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de jul. 2016.
- KUSSANO, Marilin Ribeiro; BATALHA, Mário Otávio. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. **Gestão e Produção, São Carlos**, v. 19, n. 3, 2012.
- LIMA, Ronei Coelho de; PENNA, Nelba Azevedo. A logística de transportes do agronegócio em Mato Grosso (Brasil). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 26, 2016.
- MARTINS, Ricardo Silveira. Estudo da formação do frete rodoviário e potencial de Conflitos em negociações em cadeias do agronegócio Brasileiro. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 10, n. 1, 2011.
- MDIC-SECEX, **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br>>. Acesso em: 12 de Jun. de 2016.
- MRS, **Malha Regional Sudeste da Rede Ferroviária Federal S. A.** Sistema MRS. Disponível em: < www.mrs.com.br>. Acesso em: 03 jul. 2016.
- OLIVEIRA, Andréa Leda Ramos; CICOLIN, Lucas; DOS SANTOS, Maraisa Cristina. estimativa do custo rodoviário da soja: uma análise da rota sorrisosantos. **Revista de Economia e Agronegócio–REA**, v. 11, n. 2, 2015.
- OLIVEIRA, Ronei Vieira; GUEDES, Indianara; DA SILVA, Rafael Henrique Barros. Análise dos custos logísticos de transporte no escoamento de soja do estado de Mato Grosso do Sul para os portos de Paranaguá e Santos. **Multitemas**, n. 47, 2015.
- OLIVEIRA, Andrea Leda Ramos; LOPES, Bruna Fernanda Ribeiro. Estratégia Logística do Milho Brasileiro e a Prática da Intermodalidade: Uma Avaliação de Rotas Seleccionadas. **REVISTA PRODUÇÃO E ENGENHARIA**, v. 7, n. 1, p. 613-622, 2016.
- PÉRA, T.G.; SANT'ANNA, M.C.L.; GUIMARAES, A.; GAMEIRO, A.H.; CAIXETA-FILHO, J.V. Modelo econométrico dos determinantes de preços de fretes rodoviários de cargas agrícolas envolvendo legislação, qualidade da via e multimodalidade. In: **XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET)**, 2013, Belém, PA.
- PIL, **Programa de Investimento em Logística**. Disponível em: <pilferrovias.antt.gov.br>. Acesso em: 04 set de 2016.

PLANALTO – **Presidência da Republica**. Disponível em: <www2.planalto.gov.br/>. Acesso em: 09 set de 2016.

RATTI, Bruno. **Comércio internacional e câmbio**. Edições Aduaneiras, 2006.

REIS, Augusto da Cunha et al. Avaliação dos critérios de seleção de transportador e modais para o escoamento da safra de soja brasileira. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 14-30, 2015.

REVISTA FERROVIÁRIA. **Obras previstas no Programa de Investimento e Logística**. Disponível em: <<http://www.revistaferroviaria.com>>. Acessado em 26 de ago de 2016.

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrosio. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional**. Edições Aduaneiras, 2008.

SIFRECA, **Sistema de informação de fretes de cargas agrícolas**. Fretes Rodoviários. Disponível em: <esalqlog.esalq.usp.br>. Acesso de: 01 jan. a 31 set. 2015.

SILVA, Murilo Massaru; FRASCAROLI, Bruno Ferreira; SOBEL, Tiago Farias. Transmissão de Preços e Custos de Transação no Mercado de Soja Matogrossense: uma Abordagem por Modelos Threshold. **Revista de Economia e Agronegócio–REA**, v. 11, n. 2, 2015.

SOUZA, Diogo Fumagalli; MARKOSKI, Adelar. A competitividade logística do Brasil: um estudo com base na infraestrutura existente. **Revista de Administração**, v. 10, n. 17, p. p. 135-144, 2013.

VLI, **Valor da Logística Integrada**. Ferrovias. Disponível em: <www.vli.com.br>. Acesso em: 03 jul. 2016.

APÊNDICE

Modelo matemático utilizado na plataforma GAMS

\$ONECHO > PARAMETROS.TXT

set=O rng=o!A1 RDIM=1

set=P rng=sets!C2:C50000 RDIM=1

set=Q rng=sets!E2:E50000 RDIM=1

set=T rng=sets!G2:G50000 RDIM=1

par=OFERTA rng=ofe!A1 RDIM=1

par=DEMANDA rng=dem!A1 RDIM=1

par=CAPPORTO rng=capp!A1 RDIM=1

par=CAPTERMINAL rng=capt!A1 RDIM=1

par=FRETER rng=cfr!A1 RDIM=1 CDIM=1

par=FRETEP rng=cfpr!A1 RDIM=1 CDIM=1

par=FRETEF rng=cfi!A1 RDIM=1 CDIM=1

par=FRETEM rng=cfm!A1 RDIM=1 CDIM=1

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW.EXE cenario1.xls @PARAMETROS.TXT

\$GDXIN cenario1.gdx

Sets O Origens

    P Portos nacionais

    Q Portos internacionais

    T Terminais de transbordo;

\$LOAD O P Q T

Parameters

OFERTA(O)

DEMANDA(Q)

CAPPORTO(P)

CAPTERMINAL(T);

\$LOAD OFERTA DEMANDA CAPPORTO CAPTERMINAL

Parameter FRETER(O,P);

Parameter FRETEP(O,T);

Parameter FRETEF(T,P);

Parameter FRETEM(P,Q);

\$LOAD FRETER FRETEP FRETEF FRETEM

\$GDXIN

Variables

Z custo total de transporte do modelo

FLUXOR(O,P) quantidade transportada entre os municipios produtores e os portos nacioanais

FLUXOT(O,T) quantidade transportada entre os municipios produtores e os terminais de transbordo

FLUXOF(T,P) quantidade movimentada entre os terminais de transbordo e os portos nacionais

FLUXOM(P,Q) quantidade movimentada entre os portos nacionais e os portos internacionais;

Positive Variable FLUXOR, FLUXOT, FLUXOF, FLUXOM;

Equations

FOBJ função objetivo do problema

DEM(Q) demanda dos portos internacionais

OFT(O) oferta dos municípios

CAPP(P) capacidade dos portos

CAPT(T) capacidade dos terminais

EQTERMINAL(T) tudo que entra tem que sair dos terminais

EQPORTONACIONAL(P) tudo que entra tem que sair dos portos nacionais;

FOBJ.. $Z = E = \text{SUM}((O,P), \text{FLUXOR}(O,P)*\text{FRETER}(O,P)) + \text{SUM}((O,T), \text{FLUXOT}(O,T)*\text{FRETEP}(O,T)) + \text{SUM}((T,P), \text{FLUXOF}(T,P)*\text{FRETEF}(T,P)) + \text{SUM}((P,Q), \text{FLUXOM}(P,Q)*\text{FRETEM}(P,Q));$

DEM(Q).. $\text{SUM}(P, \text{FLUXOM}(P,Q)) = E = \text{DEMANDA}(Q);$

OFT(O).. $\text{SUM}(P, \text{FLUXOR}(O,P)) + \text{SUM}(T, \text{FLUXOT}(O,T)) = L = \text{OFERTA}(O);$

CAPP(P).. $\text{SUM}(O, \text{FLUXOR}(O,P)) + \text{SUM}(T, \text{FLUXOF}(T,P)) = L = \text{CAPPORTO}(P);$

CAPT(T).. $\text{SUM}(O, \text{FLUXOT}(O,T)) = L = \text{CAPTERMINAL}(T);$

EQTERMINAL(T).. $\text{SUM}(O, \text{FLUXOT}(O,T)) - \text{SUM}(P, \text{FLUXOF}(T,P)) = E = 0;$

EQPORTONACIONAL(P).. $\text{SUM}(O, \text{FLUXOR}(O,P)) + \text{SUM}(T, \text{FLUXOF}(T,P)) - \text{SUM}(Q, \text{FLUXOM}(P,Q)) = E = 0;$

MODEL TRANSPORT /ALL/

SOLVE TRANSPORT USING LP MINIMIZING Z;

execute_unload "resultados1.gdx" FLUXOR, FLUXOT, FLUXOF, FLUXOM;

execute 'gdxxrw.exe resultados1.gdx var=FLUXOR rng=rodoviario!A1:ZZ64000 rdim=2';

execute 'gdxxrw.exe resultados1.gdx var=FLUXOT rng=ponta!A1:ZZ64000 rdim=2';

execute 'gdxxrw.exe resultados1.gdx var=FLUXOF rng=multimodal!A1:ZZ64000 rdim=2';

```
execute 'gdxxrw.exe resultados1.gdx var=FLUXOM rng=maritimo!A1:ZZ64000  
rdim=2';
```