



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS
PARA O ESTUDO DE FLUXOS DIRETOS E REVERSOS NO
AGRONEGÓCIO DA SOJA NO BRASIL

IZABELLA MELQUÍADES CARREGAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
JOÃO MONLEVADE

Setembro, 2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



IZABELLA MELQUÍADES CARREGAL

**UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS
PARA O ESTUDO DE FLUXOS DIRETOS E REVERSOS NO
AGRONEGÓCIO DA SOJA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof.^a Dra. Mônica do Amaral

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

2017



AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo, todo auxílio ao longo dessa jornada e coragem para enfrentar tantos desafios.

Aos meus pais, Wagner e Vilma, por acompanharem meu crescimento e trabalharem dobrado, sacrificando seus sonhos em favor dos meus, por ter sido minha ancora, meu porto seguro, que mesmo de longe, sempre se fez presente em todos os momentos da minha vida. Vocês fizeram de mim não apenas um profissional, mas sobretudo, ser humano.

Gabi, você é minha irmã e companheira, minha melhor parte e sempre foi a voz da minha consciência, mostrando que eu não estava sozinha e me dando força nos momentos mais difíceis. Guel, agradeço pelos incentivos, conselhos e por fazer a minha vida mais leve e engraçada.... Não consigo expressar o quanto amo muito vocês!

A minha querida professora e orientadora de monografia, Mônica do Amaral, pelo suporte e incentivo, por compartilhar comigo toda a sua sabedoria, por ser um exemplo e me mostrar o caminho da PO, tive o privilégio de ter você como professora.

Aos professores Luciana e June pelo grande aprendizado que me proporcionaram, vocês me deram a primeira oportunidade de demonstrar a minha capacidade e sou muito grata por esses ensinamentos.

Aos meus amigos e colegas que fizeram deste tempo na Universidade a melhor etapa da minha vida, que me proporcionaram momentos incríveis e me fizeram evoluir como pessoa.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação, o meu muito obrigada.



ANEXO VII - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS PARA O ESTUDO DE FLUXOS DIRETOS E REVERSOS NO AGRONEGÓCIO DA SOJA NO BRASIL” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 27 de novembro de 2017

Izabella Melquíades Carregal



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

ATA DE DEFESA

Aos seis dias do mês de setembro de dois mil e dezessete, às catorze horas e trinta minutos, na sala E202 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pela aluna **Izabella Melquíades Carregal**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores Mônica do Amaral, Izabel Cristina Silva e Marco Antônio Bonelli Júnior. A aluna apresentou o trabalho intitulado “**Um modelo de localização de terminais intermodais para o estudo de fluxos diretos e reversos no agronegócio da soja no Brasil**”. A comissão examinadora deliberou, pela:

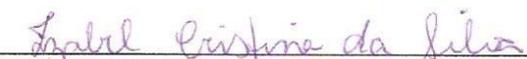
- Aprovação
 Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 30 dias
 Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca:

Reprovação

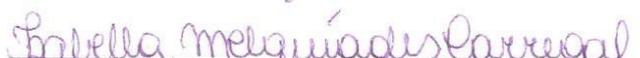
da aluna, com a nota 8,5 (oito vírgula cinco). Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

João Monlevade, 6 de Setembro de 2017.


Mônica do Amaral - Orientadora


Izabel Cristina Silva - Convidada


Marco Antônio Bonelli Júnior - Convidado


Izabella Melquíades Carregal - Aluna



RESUMO

A soja é uma das principais commodities produzidas e exportadas pelo Brasil, com cerca de 39% da exportação mundial do grão. Com o atual sistema modal do país são necessários o equivalente a 25 sacas para o pagamento do frete de uma tonelada de soja escoada, o que representa 50% do total da safra. Isso ocorre devido as grandes distâncias percorridas para a chegada do produto final ao porto marítimo. Para o escoamento de grandes volumes, se faz necessário a utilização da intermodalidade do transporte, determinação de melhores rotas e identificação da disponibilidade de infraestrutura de apoio para garantir uma significativa economia. Uma alternativa para a diminuição dos custos associados ao transporte, seria a utilização de cargas de retorno, que se aplicado a malha viária da soja poderia gerar menor custo de frete aos produtores e propiciar um preço mais competitivo no mercado internacional.

Como forma de auxiliar no processo de operacionalização das redes de exportação da soja e importação de fertilizantes e trigo, este estudo propõe a utilização de um modelo de programação matemático baseado na localização de instalações para localizar terminais intermodais nas redes, levando em consideração os volumes movimentados nos arcos e vértices. Foram realizados testes computacionais em redes estabelecidas com dados realistas da situação brasileira no ano de 2015.

Palavras-chave: Logística. Fluxos em rede. Exportação da soja. Carga de retorno. Custo de frete. Modelo de localização



ABSTRACT

Soybeans are one of the main commodities produced and exported by Brazil, with about 39% of the world's grain exports. The current modal system of the country requires the equivalent of 25 bags for the payment of freight of one ton of soybean drained, which represents 50% of the total harvest. This is due to the great distances covered by the arrival of the final product in the maritime port. In order to dispose of large volumes, it is necessary to use transport intermodality, determine the best routes and identify the availability of support infrastructure to ensure significant savings. An alternative to reduce the costs associated with transportation would be the use of backhauling, which if applied to the road network of soybeans could generate a lower freight cost to producers and provide a more competitive price in the international market.

This study proposes the use of a mathematical programming model based on the location of facilities to locate intermodal terminals in the networks, taking into account the volumes handled in the arcs and vertices. Computational tests were performed in networks established with realistic data of the Brazilian situation in the year 2015.

Keywords: Logistics. Network flows. Export of soybeans. Backhauling. Freight cost. Location model.



Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Prospecção de consumo de fertilizantes | 25 |
| Gráfico 2: Custo de transporte em função do número de terminais instalados .. | 42 |
| Gráfico 3: Quantidade escoada pelo terminal de Uberlândia | 51 |
| Gráfico 4: Quantidade escoada pelo terminal de Jataí..... | 51 |
| Gráfico 5: Quantidade escoada pelo terminal de Itaqui..... | 52 |
| Gráfico 6: Quantidade escoada pelo terminal de Santos | 53 |
| Gráfico 7: Quantidade escoada pelo terminal de Santarém..... | 53 |



Tabela

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Disponibilidade de Fertilizantes no Brasil..... | 25 |
| Tabela 2: Produção de soja no Brasil..... | 33 |
| Tabela 3: Consumo de Fertilizante importado..... | 34 |
| Tabela 4: Destino do Fertilizante importado | 34 |
| Tabela 5: Destino do trigo na rede..... | 36 |
| Tabela 6: Terminais intermodais da rede..... | 36 |
| Tabela 7: Cidades utilizadas na rede modal GEIPOT | 38 |
| Tabela 8: Novas cidades da rede intermodal | 39 |
| Tabela 9: Custo totais em função do número de terminais instalados na rede da soja..... | 42 |
| Tabela 10: Custo totais em função do número de terminais instalados na rede do fertilizante..... | 46 |
| Tabela 11: Custo totais em função do número de terminais instalados na rede do trigo..... | 49 |



Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Rotas apresentadas pela rede da soja | 45 |
| Figura 2: Rotas apresentadas pela rede do fertilizante | 47 |
| Figura 3: Rotas apresentadas pela rede do trigo | 50 |



Sumário

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. | Problema de Pesquisa | 14 |
| 1.2. | Objetivo | 15 |
| 1.2.1. | Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.2.2. | Objetivos Específicos..... | 15 |
| 1.3. | Justificativa..... | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 2.1. | Fluxos diretos e volumes da soja no Brasil..... | 18 |
| 2.2. | Fluxos reversos de trigo e fertilizantes no Brasil..... | 23 |
| 2.2.1. | Fluxo reverso do trigo..... | 23 |
| 2.2.2. | Fluxo reverso do fertilizante..... | 24 |
| 2.3. | Trabalhos | 26 |
| 2.4. | O problema de fluxos e localização de terminais intermodais em redes de exportação..... | 27 |
| 3 | METODOLOGIA DE PESQUISA | 30 |
| 4 | EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS | 32 |
| 4.1. | Coleta de Dados de Oferta e Demanda..... | 32 |
| 4.2 | Testes preliminares | 37 |
| 4.3 | Resultados..... | 38 |
| 4.3.1 | Rede de fluxo de Exportação da soja..... | 41 |
| 4.3.2 | Rede de fluxo de Importação do fertilizante..... | 45 |
| 4.3.3 | Rede de fluxo de Importação do trigo | 48 |
| 4.3.4 | Similaridades dos fluxos de exportação e importação..... | 51 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 54 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 56 |
| 7 | ANEXO A – LISTA DE SIGLAS DAS CIDADES UTILIZADAS NOS DADOS ... | 61 |



1 INTRODUÇÃO

Para que haja uma manutenção da vantagem competitiva perante o cenário internacional, devem-se estabelecer alternativas logísticas que propiciem o baixo custo sobre o produto final. O transporte é responsável por cerca de 2/3 dos custos logísticos das empresas, considerando-se os gastos de transferências e distribuição física aos clientes imediatos (BALLOU, 2006).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2016), no início do ano de 2010, um em cada quatro produtos do agronegócio em circulação no mundo eram brasileiros, e a previsão é de que até 2030 um terço dos produtos comercializados no mundo será do Brasil, em razão da crescente demanda dos países asiáticos.

Para alavancar ainda mais o crescimento do agronegócio no Brasil, é necessário que a distribuição de produtos agrícolas ocorra de forma eficiente, ou seja, o aumento da produção deve ocorrer entretanto a melhoria do sistema logístico para promover a redução dos custos associados.

Conforme dados da FAOSTAT (2016), o consumo de soja em grãos representa pouco mais de 1% da produção mundial, mas através do seu beneficiamento é obtido derivados que podem ser utilizados em diversos setores. A produção de soja no mundo, apesar da sua importância econômica, limita-se a poucos países. A maior parte da produção é realizada pelos Estados Unidos da América, Brasil, Argentina e a China, que juntos, produziram 89,5% de toda a soja produzida no mundo no ano de 2004.

Segundo Tavares (2004), no Brasil o escoamento da produção de soja se concentra no modal rodoviário, gerando demandas na estrutura logística, com maior destaque nos períodos de safra, que devem ser absorvidas pelas ferrovias e pelos armazéns dos portos. Isso está relacionado à insuficiência dos modais hidroviários e ferroviários no país: enquanto o modal rodoviário responde por 67% desse transporte, os modais hidroviário e ferroviário respondem por 5% e 28%, respectivamente.



Os custos logísticos do modal rodoviário para grandes distâncias são altos e este modal é o predominante no transporte da soja brasileira. Com isso, os custos logísticos do Brasil são significativamente mais elevados do que seus principais concorrentes, Estados Unidos e Argentina. Enquanto os transportadores estadunidenses operam, em sua maioria pelo modal aquaviário, utilizando barcaças, os argentinos utilizam o modal rodoviário, porém, com uma grande diferença em relação ao Brasil: as distâncias entre as propriedades rurais e os portos de escoamento da soja argentina são bem menores do que as brasileiras (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Para Beilock et al. (1986), o valor do frete praticado não é somente função dos custos derivados da prestação do serviço de transporte, mas também devido a outros fatores, como as condições de oferta de transporte na origem e possibilidade de carga de retorno no destino. Assim, os fretes tendem a ser menores quanto maior for a possibilidade de se conseguir carga de retorno e mais elevado quando a oferta de serviços de transporte for escassa na origem e o tempo de espera para obtenção de carga de retorno se tornar prolongado.

Em um levantamento realizado pela Agrinvest Commodities, o custo logístico resultou na diminuição da rentabilidade da soja na safra 2015/2016, pois mostra que sojicultores de regiões brasileiras mais distantes do porto gastam até US\$ 4,00 por saca a mais que os produtores norte-americanos e isso impacta diretamente no preço da mercadoria final.

Com base nessas informações, temos que, aumentando a possibilidade de utilização das cargas de retorno na logística da cadeia produtiva da soja, o seu custo total seria minimizado, o que conseqüentemente implicaria em um preço mais competitivo frente aos seus principais concorrentes no mercado internacional.

1.1. Problema de Pesquisa

O presente trabalho planeja modificar o modelo de fluxos intermodais e localização de instalações proposto por Amaral et al. (2012), para permitir a inserção do fluxo reverso de fertilizantes e de trigo, considerando as sazonalidades nos fluxos



diretos e reversos. O modelo deve ser aplicado ao sistema de transporte utilizado para realizar o escoamento da soja destinada à exportação e a importação de fertilizantes, principalmente para o interior, permitindo a comparação de diferentes cenários, a fim de otimizar a rede logística da soja, com foco nas cargas de retorno para minimização de custos operacionais.

1.2. Objetivo

São apresentados, a seguir, os objetivos geral e específicos deste trabalho.

1.2.1. Objetivo Geral

Tem-se por objetivo adaptar o modelo de otimização de fluxos intermodais e localização de instalações, utilizando como base o artigo de Amaral *et al.* (2012) e Almeida *et al.* (2016), afim de considerar novas variáveis que venham a contribuir para a redução dos custos logísticos relacionados à exportação da soja brasileira e que melhorem a eficiência da rede, quando se consideram os seus fluxos reversos, principalmente de fertilizantes.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos estão listados abaixo:

- Avaliar fatores como distância percorrida, possibilidade de carga de retorno e especificidades da carga transportada;
- Adaptar o modelo, de modo a incluir a consideração dos fluxos reversos, especialmente o de fertilizantes;
- Realizar experimentos computacionais e análises de cenários para instâncias do problema baseados nos fluxos diretos e reversos;
- Verificar a viabilidade do modelo no cenário brasileiro e seus impactos nos custos logísticos.



1.3. Justificativa

O aumento da importância da eficiência logística para minimização de custos e a falta de estudos acadêmicos voltados para o fluxo de cargas de retorno de *commodities* nos portos e vias de transporte brasileiros, foram essenciais para a escolha do tema. No momento estudado, com a precariedade das vias de acesso no país, são necessários o equivalente a 25 sacas de soja para escoar uma tonelada do grão, representando assim um custo associado de cerca de 50% do faturamento com a exportação da *commodity*.

No caso, o desenvolvimento deste projeto pode contribuir na melhoria do trabalho já realizado, pois a problemática é dinâmica, e seus parâmetros e até mesmo suas restrições variam ao longo do tempo. Um bom resultado neste estudo pode apoiar no processo de decisão quanto à utilização das cargas de retorno na logística da cadeia produtiva da soja, diminuindo o custo e proporcionando um preço mais competitivo frente aos seus principais concorrentes no mercado internacional. Isso ocorre, pois, o modal rodoviário ainda é o mais utilizado para transporte de cargas e possui custos maiores do que o modal ferroviário e hidroviário, o que implica em altos custos logísticos.

Do ponto de vista de modelagem matemática, o problema consiste na localização de instalação para a configuração de uma rede logística intermodal. O problema a ser analisado consiste em planejar a instalação de terminais intermodais em uma rede de transporte, permitindo o escoamento de produtos como a soja em grão, a partir dos pontos de oferta até os pontos de demanda, a um custo mínimo. Os pontos de oferta são as regiões produtoras de soja. Os pontos de demanda são os mercados consumidores internacionais (AMARAL *et al.*, 2012).



1.4. Estrutura do Trabalho

O estudo está dividido do seguinte modo: o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica realizada, que aborda os fluxos diretos e volumes de soja no Brasil, os fluxos reversos de trigo e fertilizantes, os trabalhos já existentes na área e o modelo de fluxo e localização de terminais intermodais em redes de exportação, que é o modelo utilizado como base para este trabalho. Já no Capítulo 3 é denotado a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 4 é dedicado aos experimentos computacionais, contendo às etapas de adaptação da rede de exportação proposta por Amaral *et al.* (2012) e aplicação ao modelo do mesmo autor. Primeiramente, a rede é reformulada com uma malha viária mais robusta, levando em conta o volume de exportação do ano de 2015 disponibilizados. Em seguida, a rede foi reformulada para se adequar a quantidade de produtos importados, posteriormente as rotas geradas nos resultados são analisadas e comparadas.

O Capítulo 5 encerra o trabalho, com as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fluxos diretos e volumes da soja no Brasil

A soja é considerada como a principal oleaginosa produzida mundialmente, o que não é diferente no Brasil, já que sua representatividade no universo agrícola pode ser considerada como significativa, se tornando bastante otimista para o produtor brasileiro, principalmente quando a produção americana cai. De acordo com o Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (IMEA, 2015), a soja é uma das principais *commodities* produzidas mundialmente, e faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial. Por ter uma importância considerável globalmente, a sua demanda é de grande relevância no mercado internacional. A dinâmica do mercado da soja é dividida em países produtores-exportadores e países consumidores-importadores.

O setor agrícola desempenha um papel importante no desempenho econômico do Brasil, pois apesar da agricultura ter ocupado apenas 5,4% do PIB em 2010-2013, empregou cerca de 13% da população brasileira em 2012 e suas exportações e das indústrias agroalimentares totalizaram mais de US\$ 86 bilhões em 2013, o equivalente a 36% das exportações. Nesse mesmo ano, somente a soja foi responsável por US\$ 23 bilhões desse total de exportações agrícolas, enfatizando assim sua importância econômica para o país (FAOSTAT, 2015).

Normalmente, as *commodities* são cíclicas por definição. Isso significa que a produção é estimulada ou desestimulada de acordo com o preço. Se o preço de algum produto estiver alto, diversos produtores se sentirão “estimulados” a produzi-lo. Se a produção for grande, os estoques aumentam, o preço cai e, conseqüentemente, diversos produtores perdem o interesse por produzir grandes volumes, fazendo com que a safra diminua. Conseqüentemente, os estoques reduzem-se e o preço volta a subir. Não há uma tendência de alta nem baixa eterna, mas sim ciclos, por isso, as *commodities* como a soja são consideradas cíclicas (NEHMI, 2012).



Devido a essa característica de ciclicidade, em 2003 até 2013, os produtores impulsionados pelo aumento de 57% do consumo da soja no mundo, atingiram o valor de 269,7 milhões de toneladas, sendo que no mesmo período a produção cresceu 62%, atingindo 284 milhões. As exportações chegaram a 99,9 milhões e o destino principal é a China, para onde vão 59 milhões de toneladas. Cerca de 90% do consumo é destinado ao esmagamento, que produz 80% de farelo e 20% de óleo de soja (USDA, 2014).

Ainda segundo dados da *United States Department of Agriculture* (2014), no ano de 2013/14, o Brasil foi responsável por contribuir com 86,7 milhões de toneladas de soja, sendo caracterizado como o maior exportador do ano, com uma exportação estimada de 46,7 milhões de toneladas ficou à frente dos Estados Unidos que comercializaram cerca de 46,3 milhões de toneladas da oleaginosa. Na safra subsequente, a 2014/15, houve um aumento ainda maior da produção, porém inferior ao estimado devido à redução do preço da soja e o aumento dos custos de produção, permanecendo assim na casa das 94 milhões de toneladas.

Porém, conforme dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (2011), a produção de soja em grãos no Brasil teve um pequeno aumento para 2015/16 e foi estimada em 95,6 milhões de toneladas. A produção é liderada pelos estados de Mato Grosso, com 27,2% da produção nacional; Paraná com, 17,9%; Rio Grande do Sul com 16,9%; Goiás, 10,7%; Mato Grosso do Sul, 7,6%, Minas Gerais, 4,9% e Bahia, 3,4%. Mas, a produção de soja está migrando também para novas áreas no Maranhão, Tocantins, Pará, Rondônia, Piauí e Bahia, que em 2015/16 respondem por 9,2% da produção brasileira, que corresponde a uma produção de 8,8 milhões de toneladas de soja.

A projeção da produção para 2025/26 é de 129,2 milhões de toneladas. Esse número representa um acréscimo de 35,1% em relação à produção de 2015/16. Mas é um percentual que se situa abaixo do crescimento ocorrido nos últimos 10 anos no Brasil, que foi de 66,0% conforme dados da Conab (MAPA, 2011).

Com a finalidade de que a demanda de consumo da soja seja atendida de



forma eficiente e que não haja perdas significativas de produção, faz-se necessário uma rede logística aperfeiçoada utilizando a infraestrutura disponível nas principais rotas da *commodity* no Brasil. Segundo o Sistema Maxwell (2017), na indústria e na agroindústria, a logística foi incorporada à geopolítica e visa maximizar o valor econômico dos produtos e materiais, tornando-os disponíveis a um preço razoável, onde e quando houver procura. Em outras palavras, a utilização do tempo e do espaço é otimizada.

Todo esse volume de soja produzido, no entanto, exerce uma pressão muito forte na infraestrutura de transportes do país. O Brasil destaca-se frente aos demais países produtores agrícolas no que se refere à maior disponibilidade de terras, clima favorável, recursos humanos qualificados, estrutura de comercialização, potencial em bioenergia, capacidade de gestão e desenvolvimento tecnológico. Por outro lado, a carga tributária, a infraestrutura logística, a taxa de câmbio e as barreiras comerciais são consideradas as principais entraves ao desenvolvimento do agronegócio, segundo pesquisa realizada junto a empresas do setor (NETO, 2015 apud ANUT, 2008).

De acordo com Caixeta Filho (2010) as atividades da agroindústria devem ter um sistema logístico aperfeiçoado, afim de não só obter as vantagens de um possível aumento da produção, mas também para evitar perdas, ou seja, a existência de uma melhor infraestrutura de transportes, além de reduzir os custos de movimentação da produção agrícola da fazenda até o consumidor, pode também diminuir as chances de eventuais perdas que ocorrem em função das más condições das estradas. Os benefícios gerados por essa situação poderiam ser compartilhados pelos produtores, transportadores e consumidores.

A logística de movimentação da soja se inicia com a coleta da produção por via rodoviária. Uma parte segue para os portos de exportação diretamente, ou mediante transbordo, para as hidrovias ou ferrovias enquanto a outra parte segue para as unidades industriais que produzem o farelo e o óleo de soja (SISTEMA MAXWELL, 2017). Ainda segundo o autor, dos modos de transporte existentes, o transporte de soja ocorre através de rodovias, ferrovias e hidrovias. No agronegócio, o sistema intermodal de transporte propicia sua vantagem competitiva para a exportação.



A logística é um dos aspectos mais importantes, pois nele contém uma parte considerável dos custos das *commodities*, sendo cerca de 30%, no caso da soja. Muitas vezes o preço do frete já está incluído no contrato entre os produtores e as *tradings*, que são responsáveis pelo transporte dos grãos até os portos, nos quais podem conseguir diminuir o preço, mas ainda é um fator de peso no custo de produção, e quando a distância é maior, como é o caso da região do Centro-Norte mato-grossense, o custo do frete é ainda mais alto, refletindo no preço que é pago pelos produtores desta região, implicando em perda de competitividade (COSTA, 2008).

Analisando-se apenas os três principais países exportadores, Estados Unidos, Brasil e Argentina, percebem-se diferenças consideráveis no que tange à questão logística de escoamento da *commodity* em cada um deles. Para se ter uma ideia, quando se analisam as matrizes de transportes da soja da Argentina e Estados Unidos, maiores concorrentes do Brasil na produção e exportação do produto, observa-se que no primeiro, embora 80% do escoamento da soja seja realizado através do transporte rodoviário, as distâncias médias entre as regiões produtoras e os portos são próximas a 300 km, tornando, assim, os custos com transporte reduzidos, devido às distâncias percorridas serem relativamente pequenas. Já nos EUA, que possui, como o Brasil, distâncias elevadas entre as regiões produtoras e os portos, a média da distância no país norte-americano está entre 1.000 e 2.000 km, dos quais, cerca de 60% da matriz é formada por hidrovias (IMEA, 2015). O custo de transporte por tonelada por km percorrido do modal hidroviário é 61% inferior que o rodoviário e 37% inferior que o ferroviário, assim, torna os custos com transporte do grão nos Estados Unidos mais reduzidos se comparado ao Brasil (RIPOLL, 2012).

Segundo Barboza (2014, apud Vianna, 2004) as rodovias brasileiras sofrem há décadas com a falta de investimentos governamental, ao modal que transporta 80% de nossa produção agrícola, e que ainda sim, se encontra em estado precário, com trechos em péssimo estado e trechos quase inexistentes. Pontes (2009) afirma que a alta dependência do modal rodoviário é problematizada quando se leva em consideração as enormes dimensões territoriais brasileiras, bem como a sua infraestrutura precária e insuficiente para a demanda.



Em termos de eficiência, os modais hidroviário e ferroviário são mais adequados para o transporte de cargas de baixo valor agregado a longas distâncias - caso da soja -, devido à capacidade de deslocar grandes volumes consumindo pouco combustível (CORREA; RAMOS, 2010). Porém, como destaca Pontes (2009), no Brasil o modal ferroviário representa uma oportunidade enorme para se reduzir custos no frete terrestre pago pelos exportadores de soja para escoar seus grãos até os portos, mas é deixado de lado devido aos investimentos elevados necessários para ampliar a sua capacidade de operação. Já no caso das hidrovias, os problemas são caracterizados como sendo a baixa integração deste transporte com outros modais, sua pequena extensão e o planejamento inadequado das eclusas.

Fleury (2005), afirma que as condições precárias das rodovias, pela baixa eficiência e falta de capacidade das ferrovias, pela desorganização e excesso de burocracia dos portos, tiveram como resultado o aumento das filas de caminhões nos principais portos, longas esperas de navios para a atracação, o não cumprimento dos prazos de entrega ao exterior, tudo isto resultando no aumento dos custos e redução da competitividade dos produtos brasileiros no exterior.

Os gargalos dos portos brasileiros também apresentam parcela de contribuição para reduzir a competitividade da soja brasileira. Os fatores portuários que mais prejudicam a competitividade das exportações brasileiras são: elevado custo das tarifas portuárias; demanda superior à capacidade instalada dos terminais e armazéns; falta de investimentos na ampliação de instalações portuárias, ocasionando filas de caminhões e navios no período da safra; e a limitação de profundidade, impedindo a atracação de navios de maior porte em alguns portos.

Merege e Assumpção (2002) concluem que, mesmo com todo o potencial competitivo “dentro da porteira”, é notória a ineficiência sistêmica do Brasil em lidar com aspectos de infraestrutura, que acabam onerando em muito o custo dos produtos agrícolas para os mercados interno e externo. Deficiências nas redes atuais de transporte somam-se a custos portuários excessivos para criar um conjunto de fatores altamente desfavorável para a competitividade dos produtos nacionais, coloquialmente denominados “custo Brasil”.



2.2. Fluxos reversos de trigo e fertilizantes no Brasil

221. Fluxo reverso do trigo

O subsídio ao consumo de trigo começou na década de 1950, mas reduzido em 1960 e reapareceu em 1973 devido à alta nos preços do trigo no mercado internacional. Com isso, o consumidor brasileiro foi induzido gradativamente a aumentar o consumo de farinha de trigo. Esses subsídios ao consumo e a elasticidade-renda de demanda da farinha em algumas regiões do país provocam o aumento do consumo interno (COLLE,1998). Com esses incentivos por parte do governo e a falta de uma produtividade mais efetiva para abastecer o mercado brasileiro, fez-se necessário o aumento da quantidade de trigo importado.

A importação brasileira de trigo aumentou 33% no ano de 2016 e atingiram 6,866 milhões de toneladas. Esse crescimento foi favorecido pela queda de 17% no preço do cereal, que ficou em média a US\$ 194 por tonelada, ante US\$ 235 por tonelada registrado em 2015. As despesas com a entrada do cereal estrangeiro aumentaram 10% para US\$ 1,335 bilhão. O maior preço médio histórico na importação ocorreu em 2013, quando os moinhos pagaram US\$ 332 por tonelada (FERREIRA, 2017).

Ainda segundo o autor, as estatísticas do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços mostram que no ano passado as importações de trigo dos Estados Unidos cresceram 171% para 1,266 milhão de toneladas, sendo que a Argentina se mantém como principal fornecedor para os moinhos brasileiros com 3,950 milhões de toneladas.

De acordo com a CONAB (2016), a contínua expansão do crescimento agrícola para o interior do país colabora para a elevada utilização das rodovias, principalmente do milho, soja e algodão, como também a centralização da produção de arroz e do trigo na Região Sul do Brasil. Esses fatores levam à conclusão de que seria de se esperar que os arranjos logísticos para o escoamento da safra agrícola deveriam privilegiar os modos aquaviário e ferroviário em razão da capacidade de carga e dos baixos custos fixos por tonelada deslocada.



A produção brasileira de grãos, a cada ano, se interioriza, devido ao aumento da área cultivada na Região Centro-Oeste e ao incremento da produtividade agrícola na Região Sul. Essas duas áreas concentraram quase 80% da safra de grãos, de 208 milhões de toneladas, na safra 2014/15. Em contrapartida, 80% da população está distribuída por localidades dispostas em um eixo inferior a 200 quilômetros da costa marítima e das plataformas exportadoras, que são responsáveis pelas remessas superiores a 40% da produção agrícolas nacional, tornando obrigatório o deslocamento das cargas, dos centros produtores para os demandantes, em distâncias superiores a 1.000 quilômetros (CONAB, 2016).

222. Fluxo reverso do fertilizante

De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA (2017), os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes são insumos básicos que aumentam a produção agrícola. De um modo geral, as potências agrícolas do mundo produzem de 70 % a 80 % do fertilizante consumido. No Brasil, a situação se inverte: o país precisa importar cerca de 75% do fertilizante que consome na sua produção agrícola (JUNIOR MARTHA, VILELA, 2008). Segundo Lupinacci (2012), essa alta dependência da importação traz o risco de, no futuro, o país enfrentar escassez de insumos básicos. Isso ocorre porque países produtores de fertilizantes, como China, Índia e EUA, são também grandes consumidores. Com o aumento de suas demandas internas, esses países tendem a limitar suas exportações, reduzindo a oferta mundial.

Se admite que a agricultura mundial será cada vez mais dependente do uso de fertilizantes. Estimativas apresentadas por Louise Fresco, da FAO, indicaram que a aplicação de fertilizantes contribui com cerca de 43% dos 70 milhões de toneladas de nutrientes removidos pela produção agrícola global. No futuro, para suprir a demanda crescente por alimentos, essa contribuição será de 84% (JUNIOR MARTHA, VILELA, 2008).

Na tabela 1 pode ser verificado a disponibilidade de fertilizantes no mercado brasileiro durante os anos de 2014 a 2017. Já o gráfico 1, mostra a evolução do



consumo de fertilizantes no país nas últimas décadas, e ainda realiza uma prospecção de seu aumento nos próximos anos, corroborando a dependência brasileira da exportação do produto.

Tabela 1: Disponibilidade de Fertilizantes no Brasil

| Fertilizantes Entregues ao Mercado (em toneladas de produto) | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2017/2016 |
| Janeiro | 2.175.907 | 1.994.141 | 2.129.366 | 2.631.960 | 23,6 % |
| Janeiro a Janeiro | 2.175.907 | 1.994.141 | 2.129.366 | 2.631.960 | 23,6% |
| Total do Ano | 32.209.066 | 30.201.993 | 34.083.415 | 2.631.960 | |

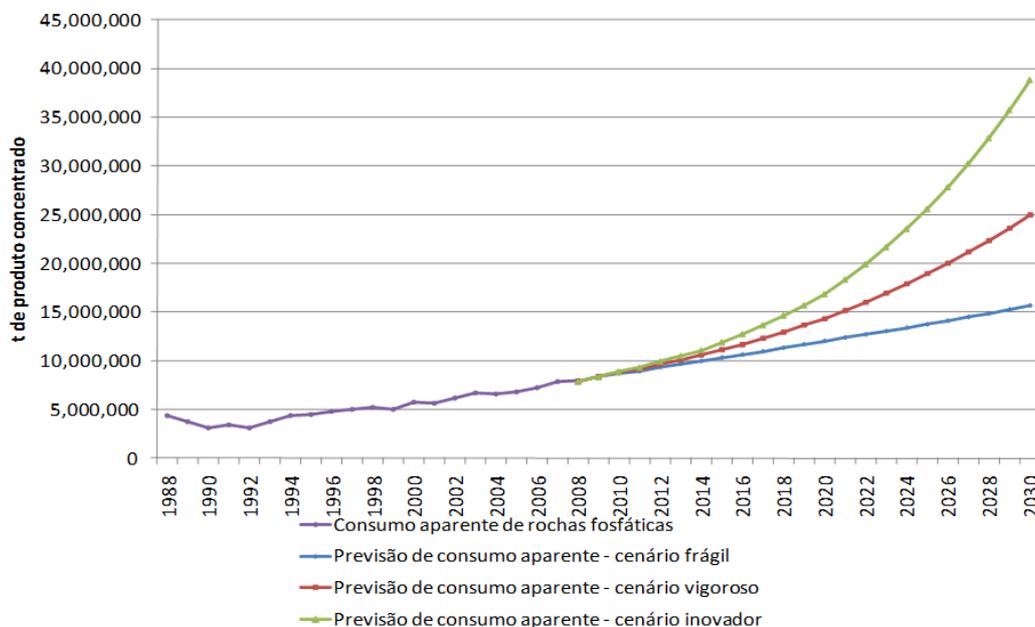
| Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto) | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2017/2016 |
| Janeiro | 637.375 | 810.364 | 682.847 | 679.335 | -0,5 % |
| Janeiro a Janeiro | 637.375 | 810.364 | 682.847 | 679.335 | -0,5% |
| Total do Ano | 8.817.680 | 9.115.260 | 8.999.817 | 679.335 | |

| Importação de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto) | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2017/2016 |
| Janeiro | 1.588.722 | 1.480.952 | 1.776.138 | 2.217.530 | 24,9 % |
| Janeiro a Janeiro | 1.588.722 | 1.480.952 | 1.776.138 | 2.217.530 | 24,9% |
| Total do Ano | 24.035.600 | 21.087.299 | 24.485.493 | 2.217.530 | |

Obs: Não inclui importações para uso não fertilizante (Fonte: Siacesp)

Fonte: ANDA, 2017

Gráfico 1: Prospecção de consumo de fertilizantes



Fonte: MINERAL DATA, 2010; SMB, 2010; MME/DNPM, 2009 apud OGASAWARA *et al.*,



2010

Segundo dados do ANDA (2017), o Estado do Mato Grosso concentrou o maior volume de entregas no período, alcançando 2.996 mil toneladas (22,8%), seguido do estado de São Paulo com 1.716 mil toneladas (13,1%), Paraná com 1.708 mil toneladas (13,0%), Goiás com 1.368 mil toneladas (10,4%) e Minas Gerais com 1.300 mil toneladas (9,9%).

Portanto, faz-se necessário a diminuição dos custos relacionados a essa importação para garantir a manutenção das culturas agrícolas e assegurar a competitividade no mercado internacional. Assim como a soja, os fertilizantes são transportados principalmente pelo modal rodoviário. De acordo com Oliveira *et al.* (2010), o modal rodoviário tem como característica a maior flexibilidade e agilidade em relação aos demais modais, possibilitando assim sua indicação para fluxos de menores distâncias de distribuição pulverizada; baixa capacidade de carga, observando-se a sazonalidade na oferta no mercado em momentos de pico de safra; e devido aos altos custos variáveis, acaba apresentando maiores valores de frete, quando comparado aos demais modais. Tais custos variáveis referem-se à manutenção do veículo como trocas de óleo, compra de óleo combustível, desgaste de pneus, gastos com lubrificação e mecânica etc. Assim, devido aos custos variáveis, a distância do percurso acaba sendo o fator de maior influência na determinação do valor do frete.

Como alternativa para reduzir os custos no transporte de cargas, pode-se usar o frete de retorno, por exemplo, das regiões portuárias para o interior do país. Após o descarregamento da carga de ida, o veículo pode ser carregado novamente com outro produto, permitindo a volta carregada até determinada localidade. A contratação do frete de retorno depende da oferta e da demanda de veículos na região de destino do frete de ida, da demanda pelo serviço de transporte, e do custo oportunidade do veículo voltar sem carga (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

2.3. Trabalhos

O agronegócio brasileiro é apontado como um dos setores mais competitivos de



nossa economia, pois representa uma quantidade considerável do PIB brasileiro. A modelagem de sua rede logística permite que o fluxo modal que se aproxime do real seja representado, possibilitando uma efetiva tomada de decisão afim de minimizar de fato os custos logísticos, e muitos estudos confirmam essa alegação. Podemos assim citar Bulhões e Caixeta Filho (2000), Ojima (2004), aplicaram os conceitos de propuseram modelos de distribuição logística da soja no Brasil e ressaltam a importância de estabelecer uma malha intermodal, a sua falta de ligações satisfatórias e a ineficácia do sistema de distribuição em vigência. Já os autores Almeida (2010) e Amaral *et al.*(2012) determinaram as rotas mais econômicas para o escoamento da soja com destino à exportação, e concluem que a infraestrutura brasileira de transportes ainda são precárias e enfatizam o potencial dos modelos desenvolvidos no auxílio a tomada de decisão.

2.4. O problema de fluxos e localização de terminais intermodais em redes de exportação

Como já especificado, este trabalho tem embasamento na pesquisa realizada por Amaral *et al.* (2012), na qual foi elaborado um modelo para instalações de terminais em uma rede de transporte para permitir o escoamento de soja das regiões produtoras para os principais portos brasileiros.

O estudo de localização de instalações é um dos aspectos mais importantes dentro do planejamento estratégico aplicado a áreas tanto públicas como privadas, sejam elas localizadas no âmbito doméstico ou no âmbito internacional. Antes de uma instalação ser construída, um estudo de localização deve ser feito, objetivando determinar a apropriada localização e capacidade, bem como o capital necessário para sua alocação (DUBKE, 2006).

Ballis e Golias (2004) definem que uma vez dadas as redes de malhas viárias de cada modal, o problema de localização de terminais intermodais consiste em identificar os melhores pontos para instalação de pontos de transbordo, possibilitando transferência



de carga entre eles e a redução dos custos logísticos. Isso ocorre especialmente quando se utilizam modais mais baratos, como o ferroviário e o hidroviário, para a transposição de longas distâncias e o modal rodoviário apenas em pequenos trechos. A rigor, todos os pontos da rede podem ser considerados como locais candidatos, mas pode ser útil considerar apenas locais favorecidos pela sua posição relativa aos pontos de produção e consumo, evitando também a proximidade com terminais considerados antagônicos em função da concorrência por atração de carga.

A ação de transbordar a carga em um ponto intermediário (ponto de transbordo) tem grande relevância nos estudos logísticos, em função das análises de localização, agregação de valor ao produto, redução de custos, entre outros (DUBKE, 2006).

Os autores utilizaram o modelo proposto por Arnold, Peeters e Thomas (2004), que foi aplicado a um sistema rodo-ferroviário de transporte de carga geral, onde após passar por adaptações, o modelo pode ser aplicado pois representava algumas particularidades da exportação da soja.

A formulação do modelo matemático ficou da seguinte forma:

Conjuntos:

- Conjunto de vértices que representam os pontos de oferta;
- Conjunto de vértices que representam os pontos de demanda;
- Conjunto de vértices que representam os pontos de cada rede modal, $m=1,2,3$;
- Conjunto de arcos de cada rede modal, $m=1,2,3$;
- Conjunto de arcos que ligam os vértices de oferta e de demanda às redes modais;
- Conjunto de arcos candidatos à instalação de terminais intermodais;
- Conjunto de arcos que ligam os vértices de oferta à rede rodoviária;
- Conjunto de arcos que ligam os vértices das redes modais, $m = 1, 2, 3$, aos vértices de demanda;
- Conjunto de terminais intermodais que ligam vértices dos modais m e m' , com $m = 1, 2, 3$, $m' = 1, 2, 3$, $m \neq m'$;



Parâmetros:

- q_i Quantidade ofertada (t) pelo ponto i , $\{i \in O\}$;
- q_j Quantidade demandada (t) pelo ponto j , $\{j \in D\}$;
- x_{ij} Número de terminais intermodais a serem instalados;
- c_{ij} Custo unitário (\$) de transportar a carga pelo arco (i,j) , $\{(i,j) \in A\}$;
- cap_{ij} Capacidade para o fluxo nos arcos (i,j) de transbordo (t), $\{(i,j) \in T\}$;
- adj_{ij} Matriz de adjacência entre os pontos da rede;

Variáveis:

- f_{ij} Fluxo no arco (i,j) , $\{(i,j) \in A\}$
- y_{ij} $\begin{cases} 1, & \text{se um terminal intermodal é instalado em } (i,j), \{(i,j) \in T\} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

O modelo pode então ser formulado a partir das equações (1) – (8):

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

Sujeito a:

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij} = q_i, \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij} \leq cap_{ij}, \quad \forall (i,j) \in T \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} = \sum_{(i,j) \in T} y_{ij}, \quad \forall (i,j) \in \{O \cup D\} \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij} = \sum_{(i,j) \in T} f_{ij} \quad (5)$$

$$f_{ij} \leq cap_{ij} y_{ij}, \quad \forall (i,j) \in T \quad (6)$$

$$f_{ij} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A \quad (7)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in T \quad (8)$$



Conforme descrito por Amaral *et al.* (2012), a função objetivo descrita pela equação 1, busca a minimização dos custos de transporte e transbordo, não considerando custos fixos de instalação para os terminais intermodais. A restrição da equação 2 garante que exatamente p terminais sejam instalados. As restrições das equações 3-5 garantem as restrições de fluxo no sistema, sendo que a equação 3 se refere às quantidades ofertadas, a equação 4 à conservação do fluxo nos nós intermediários e a equação 5 ao atendimento da demanda. Na equação 6, a restrição garante-se que só pode haver fluxo em um terminal intermodal se este for aberto e respeitadas as limitações de capacidade de transbordo. Finalmente, nas equações 7 e 8 são definidos os domínios das variáveis, sendo as variáveis de fluxo não negativas e binárias as de abertura de terminais.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O modelo de pesquisa é caracterizado como empírico, baseado na valorização da possibilidade de oferecer maior concretude às argumentações, por mais tênue que possa ser a base fatural. O significado dos dados empíricos depende do referencial teórico, mas estes dados agregam impacto pertinente, sobretudo no sentido de facilitarem a aproximação prática (Demo, 1994, p. 37).

Nesta classe de pesquisa deve-se assegurar que o modelo se ajuste entre observações e ações na realidade e o modelo elaborado daquela realidade. A pesquisa quantitativa empírica normativa busca principalmente o desenvolvimento de políticas, estratégias e ações para melhorar a situação atual (WILL, BERTRAND e FRANSOO, 2002).

Na primeira etapa foram realizadas revisões de literatura sobre o volume e a logística da soja no Brasil, além de levantar os dados sobre a produção e rotas disponíveis para utilização. O segundo passo foi constituído da implementação do modelo de programação linear inteiro elaborado por Amaral *et al.* (2012) para



localização de terminais intermodais afim de realizar as devidas adaptações nos dados para suportar os fluxos reversos do trigo e de fertilizantes, para em seguida, aplicar o modelo proposto à cadeia de suprimentos do agronegócio da soja no Brasil.

A coleta de dados foi realizada por meio da busca em bancos de dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ, Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE sobre as principais cidades brasileiras produtoras de soja; as rotas ferroviárias, rodoviárias e aquaviárias utilizadas para transbordo e os principais portos de destino da carga. Por fim serão analisados os resultados obtidos pela saída do modelo. O trabalho consiste na verificação de localização de terminais, assumindo que eles estejam aptos a receber as cargas, sendo localizados tanto dentro portos/terminais marítimos quanto nos transbordos brasileiros já existentes.

O presente trabalho foi considerado como pesquisa empírica normativa, pois se trata de um modelo que propõe estratégias e ações para melhoria de uma situação existente. Ao contrário de um modelo descritivo, ao final do trabalho, é pretendido propor soluções para agir sobre o problema além de apenas aponta-lo (NAKANO *et al.*, 2010).

Essa pesquisa é dividida em 5 fases, segundo Morabito e Pureza (2012), que são:

- **Definição do problema:** quando o escopo do problema, os objetivos envolvidos, assim como o modelo conceitual são determinados. Esta fase é central na pesquisa empírica. O modelo conceitual deve representar adequadamente o problema real, para que uma resposta satisfatória seja obtida;
- **Construção do modelo:** fase em que são desenvolvidos o modelo matemático do problema com as informações e estimativas coletadas na primeira fase. Também ocorrem as coletas de dados para a determinação de parâmetros do modelo e começam as análises e experimentos com o modelo;
- **Solução do modelo:** são utilizados métodos de solução e algoritmos para a resolução do modelo. Algoritmos estes que podem já ser conhecidos da literatura, ou desenvolvidos especificamente para tratar o problema. Acontece



também a análises de sensibilidade e de diferentes cenários para verificar a consistência das soluções encontradas;

- **Validação do problema:** se dá por verificar se o modelo proposto se adequa ao sistema real. Para que um obter uma boa solução de um modelo, é necessário que o modelo retrate com precisão o modelo do problema apresentado, ou seja, quanto mais preciso, melhor a qualidade da solução;
- **Implementação da solução:** esta é uma fase importante na pesquisa empírica. Ela traz a tradução do modelo para a organização ou empresa em questão, fazendo com que através dos resultados, possam ser tiradas conclusões e tomadas decisões mais corretamente.

Portanto podemos caracterizar o estudo como sendo uma pesquisa empírica baseada no modelo quantitativo, a pesquisa quantitativa permite a mensuração de opiniões, reações, hábitos e atitudes em um universo, por meio de uma amostra que o represente estatisticamente (HAYATI; KARAMI; SLEE, 2006), sendo justificada pela aplicabilidade desses modelos matemáticos em situações reais.

4 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

4.1. Coleta de Dados de Oferta e Demanda

Os dados utilizados baseiam-se no período de safra de grãos de 2014/2015, obtidos junto ao banco de dados disponibilizado pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) e pela CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2016), a fim de obter informações sobre a densidade populacional e a distribuição das áreas de plantio das culturas e o percentual de produção de soja dos principais municípios dos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná, Minas Gerais, Maranhão e Bahia, com foco em estabelecer os volumes de carga movimentados nas principais rotas do país com destino aos portos de Santos-SP, Vitória-ES, Paranaguá-PR, São Francisco do Sul-SC, Itaquí-MA, Vila do Conde-PA, Santarém-PA e Itacoatiara-AM.



Com esse conjunto de elementos e os informes previamente obtidos nos arquivos de dados de Almeida (2010) e Amaral et al. (2012) foram realizadas adaptações necessárias nos fluxos de exportação da soja devido a algumas mudanças na demanda dos portos, pois atualmente o porto de Shanghai na China é responsável por absorver cerca de 75% de toda a produção de soja no Brasil, o Leste Asiático 5% e os outros 20% que serão destinados a Rotterdam na Holanda e a Europa. Também podem ser notadas transformações nos perfis de cultivo de grãos, o que propiciou a inserção de algumas cidades como origem da produção do grão (FARMNEWS, 2017). Logo, o novo conjunto de origem passou a ser composto pelos maiores produtores, que são constituídos por 26 cidades, que juntas são responsáveis por cerca de 40,9% da produção nacional, sendo que Anápolis-GO, Dourados-MS e Cascavel-PR além de representarem suas produções, também contam com a produção de cidades da região próximas a esses municípios, estabelecidos na Tabela 2:

Tabela 2: Produção de soja no Brasil

| Principais Produtores de Soja | Quantidade produzida (T) |
|-------------------------------|--------------------------|
| Sorriso – MT | 1.951.710 |
| Sapezal – MT | 1.222.500 |
| Campo Novo do Parecis – MT | 1.197.900 |
| Nova Mutum – MT | 1.181.830 |
| São Desidério – BA | 1.134.000 |
| Formosa do Rio Preto -BA | 1.123.200 |
| Nova Ubiratã – MT | 1.118.400 |
| Querência – MT | 1.017.600 |
| Diamantino – MT | 995.960 |
| Jataí – GO | 837.900 |
| Primavera do Leste – MT | 806.933 |
| Maracaju – MS | 775.200 |
| Rio Verde – GO | 744.000 |
| Canarana – MT | 719.100 |
| Lucas do Rio Verde – MT | 712.500 |
| Brasnorte – MT | 698.610 |
| São Felix do Araguaia – MT | 689.606 |
| Campo Verde – MT | 654.060 |
| Ponta Porã – MS | 630.000 |
| Campos de Júlio – MT | 610.617 |
| Balsas – MA | 501.668 |



| | |
|-----------------|------------|
| Unaí – MG | 374.128 |
| Uberlândia – MG | 143.115 |
| Anápolis - GO | 14.272.857 |
| Dourados - MS | 4.742.800 |
| Cascavel – PR | 383.318 |

Fonte: IBGE, 2015; MAPA, 2015

Para determinar os fluxos de fertilizantes, foram captadas informações sobre áreas plantadas com soja nos municípios dos estados com maior produção da *commodity* junto ao site do IBGE com dados de 2015, e analisados os dados sobre fertilizantes no Brasil disponibilizados pelo IPNI- *International Plant Nutrition Intitute* (2017), nos quais constam os valores de consumo do produto por região do país. Com essa informação associada ao relatório da ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos (2017), no qual se estabelece que a quantidade de fertilizante importada em 2015 pelo país foi de 21.087.299 toneladas de produto, o que representa cerca de 72,5% do consumo total, foi possível estipular a quantidade de fertilizante importado utilizada pelos principais estados produtores de soja, como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3: Consumo de Fertilizante importado

| Estado | Consumo de Fertilizante (Toneladas métricas) | Área plantada de soja (Hectares) |
|--------------------|--|----------------------------------|
| Bahia | 391.193 | 1.526.900 |
| Goiás | 2.928.121 | 3.300.000 |
| Maranhão | 531.293 | 1.829.731 |
| Mato Grosso | 5.629.235 | 9.020.661 |
| Mato Grosso do Sul | 1.631.205 | 2.350.927 |
| Minas Gerais | 3.508.805 | 1.300.000 |
| Paraná | 3.903.517 | 5.250.000 |

Fonte: ANDA, 2017; INPI, 2017; IBGE, 2015

Posteriormente, com o auxílio do estudo realizado pela EMBRAPA (1981), foi determinado que consumo necessário de fertilizantes para a cultura da soja consistia em 19,9% do total utilizado em lavouras. Com base nisso, foram realizados cálculos de quantidade de fertilizante necessário por município a partir da quantidade de área plantada em cada cidade. Porém, devido à grande quantidade de pequenos e médios produtores presentes em cidades próximas as rotas principais, foi realizado um agrupamento de demandas de acordo com a menor distância entre a cidade onde a rota



está localizada e o destino final do produto, a fim de diminuir os custos com deslocamento, resultando na seguinte rede de destino (tabela 4):

Tabela 4: Destino do Fertilizante importado

| Principais destinos de fertilizantes para soja | Quantidade (T) |
|--|----------------|
| Sorriso – MT | 77.743 |
| Sapezal – MT | 48.393 |
| Campo Novo do Parecis – MT | 47.273 |
| Nova Mutum – MT | 49.738 |
| São Desidério – BA | 255.679 |
| Formosa do Rio Preto -BA | 94.950 |
| Nova Ubiratã – MT | 43.801 |
| Querência – MT | 39.768 |
| Diamantino – MT | 38.872 |
| Jataí – GO | 50.345 |
| Primavera do Leste – MT | 32.822 |
| Maracaju – MS | 57.456 |
| Rio Verde – GO | 229.524 |
| Canarana – MT | 29.126 |
| Lucas do Rio Verde – MT | 29.573 |
| Brasnorte – MT | 28.117 |
| São Felix do Araguaia – MT | 25.541 |
| Campo Verde – MT | 25.765 |
| Ponta Porã – MS | 60.994 |
| Campos de Júlio – MT | 23.973 |
| Balsas – MA | 53.413 |
| Cascavel – PR | 131.590 |
| Unaí – MG | 395.211 |
| Uberlândia – MG | 303.041 |
| Anápolis - GO | 882.540 |
| Dourados - MS | 90.242 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação ao fluxo de importação do trigo, o relatório da ABITRIGO (2017), constava o volume de trigo importado para os portos brasileiros e a quantidade demandada por estado. Assim, foi possível identificar a incompatibilidade de cerca de 74,8% do fluxo do trigo em território nacional em detrimento a rota preestabelecida da cultura da soja. Portanto, o montante remanescente de 776.269 toneladas foi distribuído



pelos pontos candidatos a entrega dessa demanda (tabela 5), garantindo a manutenção da rede modal da soja e a proximidade entre o destino final, os grandes centros industriais e as cidades de maior densidade demográfica.

Tabela 5: Destino do trigo na rede

| Destino | Quantidade Trigo (T) |
|-----------------|----------------------|
| Colônia – SP | 564.478 |
| Cascavel – PR | 74.550 |
| Uberlândia – MG | 70.100 |
| Itaituba – PA | 26.498 |
| Mafra – SC | 18.306 |
| Dourados – MS | 12.680 |
| Anápolis-GO | 4.500 |
| Teresina -PI | 3.849 |
| Ponta Porã – MS | 1.308 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados apresentados por Almeida *et al.* (2016), Amaral *et al.* (2012) e Almeida (2010), encontraram-se então os candidatos a terminais a partir do fluxo da soja, com uma rede de abrangência maior que anteriormente proposta, devido ao acréscimo de algumas regiões produtoras do grão.

Tabela 6: Terminais intermodais da rede



| Terminal Intermodal | Ligações | | | | Terminal Intermodal | Ligações | | | | Terminal Intermodal | Ligações | | | |
|---------------------|----------|---|---|---|---------------------|----------|---|---|---|---------------------|----------|---|---|---|
| | R | F | H | M | | R | F | H | M | | R | F | H | M |
| AAR-MT | x | x | | | MAC-MS | x | x | | | CAR-AM | x | | x | |
| APT-MS | x | x | x | | MAR-PR | x | x | | | PVE-RO | x | | x | x |
| BHO-MG | x | x | | | PAN-SP | x | x | x | | STA-PA | x | x | x | x |
| CAC-MT | x | | x | | PAR-PR | x | x | | x | TER-PI | x | x | x | |
| CGR-MS | x | x | | | PED-SP | x | x | x | | VDC-PA | x | x | x | x |
| CAS-PR | x | x | | | PGR-PR | x | x | | | ACA-MA | x | x | | |
| CDS-MS | x | x | | | PPO-MS | x | x | | | ABO-MT | x | | x | |
| COL-SP | x | x | | | PEP-SP | x | x | x | | ARU-MT | x | | x | |
| COR-MS | x | x | x | | SAN-SP | x | x | | x | BAL-MA | x | | x | |
| CUR-PR | x | x | | | SFS-SC | x | x | | x | CRA-MT | x | | x | |
| EPA-SP | x | x | x | | SPA-SP | x | x | | | EST-MA | x | x | | |
| GOI-GO | x | x | | | SSI-GO | x | | x | | ITB-PA | x | | x | |
| GUA-PR | x | x | | | TLA-MS | x | x | x | | ITC-AM | | | x | x |
| ITA-SP | x | x | | | UBE-MG | x | x | | | ITQ-MA | x | x | | x |
| LON-PR | x | x | | | UVI-PR | x | x | | | MAB-PA | x | x | x | |
| MAF-SC | x | x | | | VIT-ES | x | x | | x | PEI-TO | x | | x | |
| ANA-GO | x | x | | | EST-MA | x | x | x | | SOR-MT | x | x | | |
| CER-GO | x | x | | | JAT-GO | x | x | | | VIL-RO | x | x | | |
| CUJ-MT | x | x | | | RON-MT | x | x | | | | | | | |
| DOU-MS | x | x | | | SMP-PA | x | x | | | | | | | |

LEGENDA: **R** – Terminal Rodoviário **F** – Terminal Ferroviário **H** – Terminal Hidroviário **M** – Terminal Marítimo

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Testes preliminares

Os primeiros testes computacionais com o modelo de Amaral *et al.* (2012) foram realizados com base no banco de dados desenvolvido por Almeida (2010) sobre os corredores de exportação de soja no Brasil, onde as informações do estudo serviram como parâmetros para o modelo.

Posteriormente, foram acrescentados a rede as cidades com maiores produções de soja dos principais estados fornecedores do grão. Assim, foi possível determinar os pontos candidatos a terminais intermodais, os quais foram considerados com base nas cidades que faziam parte de cada rota como candidatas a terminais, e também os portos, visto que envolvem troca de modais para os destinos finais, que são no exterior.

Os testes foram realizados em um microcomputador Intel Core I3, 4 GB RAM, sistema operacional Windows 10 Home Single Language, utilizando-se o *software* livre



a linguagem de modelagem AMPL (FOURER E GAY, 2002) com o solver CPLEX.

4.3 Resultados

O principal objetivo do trabalho foi representar a realidade do escoamento da soja brasileira destinada à exportação e as possibilidades de inserção de fluxos reversos. Além disso, foram feitos testes com as instâncias com os dados da tabela 7 estabelecidos por Almeida (2010) para avaliar o desempenho computacional do modelo.

Tabela 7: Cidades utilizadas na rede modal GEIPOT

| Origem | Transbordo | Destino |
|----------------------------|---------------------------------|----------------|
| Campo Novo do Parecis - MT | Alto Araguaia - MT | Shangai - CH |
| Nova Xavantina – MT | Alto Taquari - MT | Rotterdam - HO |
| Primavera do Leste - MT | Aruanã - MT | |
| Rodonópolis – MT | Cáceres - MT | |
| Sorriso – MT | Campo Novo do Parecis - MT | |
| Anápolis – GO | Cachoeira Rasteira - MT | |
| Jataí – GO | Cuiabá - MT | |
| Rio Verde – GO | Primavera do Leste - MT | |
| Uberlândia – MG | Rondonópolis - MT | |
| Campo Grande – MS | Nova Xavantina - MT | |
| Chapadão do Sul – MS | Sorriso - MT | |
| Dourados – MS | Barra do Garça - MT | |
| | Ceres - GO | |
| | Goiânia - GO | |
| | Rio Verde - GO | |
| | São Simão - GO | |
| | Belo Horizonte - MG | |
| | Uberlândia - MG | |
| | Vitória - ES | |
| | Aparecida do Taboado - MS | |
| | Campo Grande - MS | |
| | Chapadão do Sul - MS | |
| | Corumbá - MS | |
| | Dourados - MS | |
| | Maracajú - MS | |
| | Ponta Porã - MS | |
| | Três Lagoas - MS | |
| | Botucatu - SP | |
| | Colônia - SP | |
| | Euclides da Cunha Paulista - SP | |



| | | |
|--|---------------------------|--|
| | Itapeva - SP | |
| | Panorama - SP | |
| | Pederneiras - SP | |
| | Presidente Epitácio - SP | |
| | São Paulo - SP | |
| | Santos - SP | |
| | Cascavel - PR | |
| | Curitiba - PR | |
| | Guarapuava - PR | |
| | Londrina - PR | |
| | Maringá - PR | |
| | Paranaguá - PR | |
| | Ponta Grossa - PR | |
| | União da Vitória - PR | |
| | Mafra - SC | |
| | São Francisco do Sul - SC | |

Fonte: Almeida, 2010

Na tabela 8 estão os municípios considerados nos testes, tanto os concentradores de produção, os candidatos a terminais intermodais e os destinos da soja baseados nos dados do IBGE de 2015.

Tabela 8: Novas cidades da rede intermodal

| Origem | Transbordo | Destino |
|----------------------------|--------------------------|----------------|
| Balsas – MA | Itacoatiara - AM | Shangai - CH |
| Formosa do Rio Preto - BA | Careiro - AM | Rotterdam - HO |
| São Desidério – BA | Vilhena - RO | |
| Brasnorte – MT | Teresina - PI | |
| Canarana – MT | Itaituba - PA | |
| Campo Verde – MT | Marabá - PA | |
| Campos de Júlio – MT | Santarém - PA | |
| Campo Novo do Parecis - MT | Santa Maria do Pará - PA | |
| Diamantino – MT | Vila do Conde - PA | |
| Lucas do Rio Verde - MT | Açailândia - MA | |
| Nova Mutum – MT | Balsas - MA | |
| Nova Ubiratã – MT | Estreito - MA | |
| Nova Xavantina – MT | Itaqui - MA | |
| Primavera do Leste - MT | Peixes - TO | |
| Querência – MT | Porto Velho - RO | |
| Sapezal – MT | Água Boa - MT | |
| São Felix do Araguaia - MT | Alto Araguaia - MT | |



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

| | | |
|-----------------|---------------------------------|--|
| Sorriso – MT | Alto Taquari - MT | |
| Anápolis – GO | Aruanã - MT | |
| Jataí – GO | Cáceres - MT | |
| Rio Verde – GO | Campo Novo do Parecis - MT | |
| Uberlândia – MG | Cachoeira Rasteira - MT | |
| Unaí – MG | Cuiabá - MT | |
| Dourados – MS | Primavera do Leste - MT | |
| Maracajú – MS | Rondonópolis - MT | |
| Ponta Porã – MS | Nova Xavantina - MT | |
| | Sorriso - MT | |
| | Barra do Garça - MT | |
| | Anápolis - GO | |
| | Ceres - GO | |
| | Jataí - GO | |
| | Rio Verde - GO | |
| | São Simão - GO | |
| | Belo Horizonte - MG | |
| | Uberlândia - MG | |
| | Vitória - ES | |
| | Aparecida do Taboado - MS | |
| | Campo Grande - MS | |
| | Chapadão do Sul - MS | |
| | Corumbá - MS | |
| | Dourados - MS | |
| | Maracajú - MS | |
| | Ponta Porã - MS | |
| | Três Lagoas - MS | |
| | Botucatu - SP | |
| | Colônia - SP | |
| | Euclides da Cunha Paulista - SP | |
| | Itapeva - SP | |
| | Panorama - SP | |
| | Pederneiras - SP | |
| | Presidente Epitácio - SP | |
| | São Paulo - SP | |
| | Santos - SP | |
| | Cascavel - PR | |
| | Curitiba - PR | |
| | Guarapuava - PR | |
| | Londrina - PR | |
| | Maringá - PR | |
| | Paranaguá - PR | |



| | | |
|--|---------------------------|--|
| | Ponta Grossa - PR | |
| | União da Vitória - PR | |
| | Mafra - SC | |
| | São Francisco do Sul - SC | |

Fonte: Elaborado pelo autor

As tabelas 7 e 8 se diferem nas colunas dos pontos de origem e transbordo. Para a rota realizada com os dados de 2015, foram inseridas novas origens com base na produção e demanda nacional desse mesmo ano e, por essa razão, são considerados vários municípios como pontos de início e candidatos a terminais intermodais que não foram considerados nos testes de Almeida (2010).

4.3.1 Rede de fluxo de Exportação da soja

Afim de identificar o número ótimo de terminais no fluxo de ida, variou-se o valor do parâmetro p no modelo para $p = 1, 2, \dots, 26$, sendo p a quantidade de terminais a serem instalados. Como foi estabelecido, os portos também foram considerados terminais intermodais e devem ser abertos para que possam de fato receber cargas por qualquer que seja o modal, uma vez que os destinos estão fora do país. Portanto, se um porto permite descarregar tanto caminhões quanto trens, dois terminais precisam ser abertos. Para efeitos de modelagem, foram considerados quatro modais de transporte: rodoviário, ferroviário, hidroviário e marítimo.

O estudo não considera restrições de capacidade nas vias ou terminais intermodais. Com isso, o problema se restringe a atender à demanda de volume de soja necessárias nos destinos e que tenha condições de fluir através da rede. Portanto, por não haver restrições de capacidade e custos fixos incorridos na instalação dos terminais o número ótimo de terminais intermodais não pode ser considerado como conclusivo, pois o modelo apenas indica uma solução, cabendo ao tomador de decisão considerar e respeitar as capacidades existentes e todos os outros custos envolvidos.

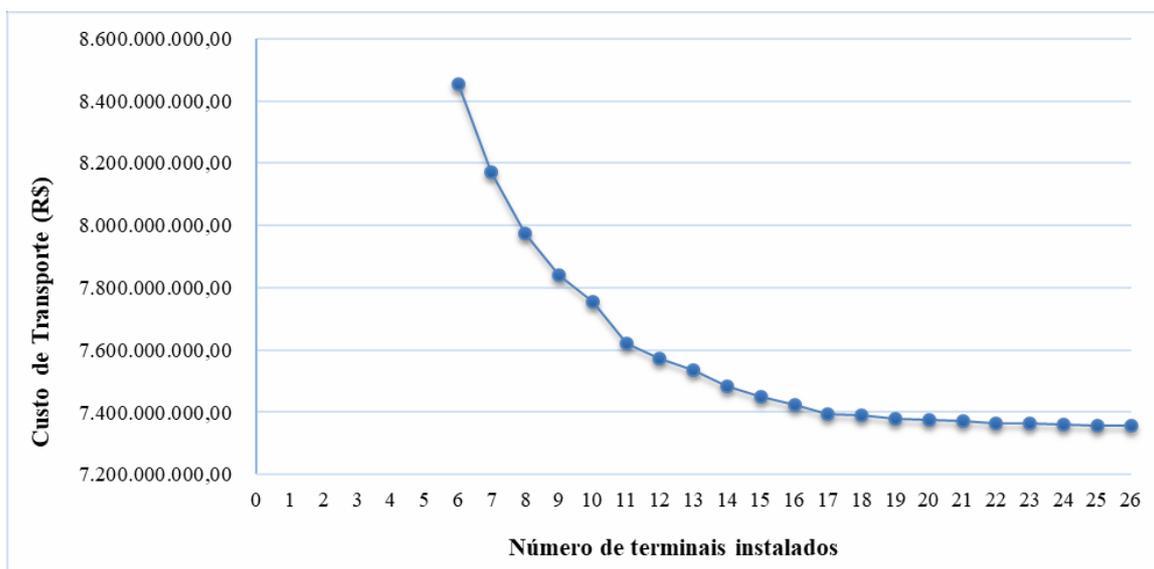
Com os primeiros resultados, foi possível escoar toda a produção de soja destinada à exportação com pelo menos 3 terminais intermodais instalados, sendo eles: Água Boa - MT, Itaqui – MA e Santos – SP. À medida em que o valor do parâmetro p aumenta no modelo, vão sendo feitas inclusões de novos terminais instalados.



Porém, podemos acentuar que o modelo foi considerado inviável para menos do que três terminais, porém mesmo que $p = 3$ até $p = 5$ sejam considerados viáveis, os custos são demasiadamente altos, o que também poderia inviabilizar somente as suas implementações.

O gráfico 2 mostra a relação entre os custos variáveis de transporte e transbordo - embarque nos portos - e o número de terminais intermodais instalados, o que é corroborado na tabela 9, que também apresenta quais terminais serão abertos. Assim sendo, após realizar vários testes, o menor número de terminais instalados é de $p = 25$ para que o problema possa atingir o custo variável mínimo.

Gráfico 2: Custo de transporte em função do número de terminais instalados



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9: Custo totais em função do número de terminais instalados na rede da soja



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

| Valor de P | Custo (R\$) | Terminais Instalados |
|------------|--------------------------------------|--|
| 1 | - | - |
| 2 | - | - |
| 3 | 8.574.315.966.000.000.000.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F) |
| 4 | 2.943.561.592.000.000.000.000.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), MAC-MS, SAN-SP (F) |
| 5 | 517.255.006.900.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), MAC-MS, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 6 | 8.455.059.639,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 7 | 8.169.758.588,00 | ABO-MT, ARU-MT, ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 8 | 7.973.088.606,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 9 | 7.840.763.736,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 10 | 7.754.345.630,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, SOR-MT, STA-PA (F), ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 11 | 7.621.830.724,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, STA-PA (F), ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 12 | 7.571.097.417,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, STA-PA (F), ITQ-MA (R), PAR-PR (F), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 13 | 7.534.835.932,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (R), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 14 | 7.484.102.613,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (R), PAR-PR (F), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 15 | 7.451.487.349,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (R), PAR-PR (R), PAR-PR (F), DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 16 | 7.424.375.154,00 | ABO-MT, ARU-MT, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (R), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 17 | 7.395.317.925,00 | ABO-MT, ARU-MT, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (R), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 18 | 7.389.623.616,00 | ABO-MT, ARU-MT, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (R), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 19 | 7.380.178.086,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 20 | 7.374.483.777,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 21 | 7.371.003.957,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 22 | 7.365.309.648,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 23 | 7.363.363.515,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PPO-MS, PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 24 | 7.360.170.167,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PPO-MS, JAT-GO, PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 25 | 7.358.224.034,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PPO-MS, JAT-GO, RON-MT, PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |
| 26 | 7.358.224.034,00 | ABO-MT, ARU-MT, BAL-MA, CAS-PR, CUI-MT, GOI-GO, SOR-MT, MAC-MS, ITC-AM (H), PVE-RO, STA-PA (F), ITQ-MA (F), PPO-MS, APT-MS, JAT-GO, RON-MT, PAR-PR (F), SSI-GO, TLA-MS, DOU-MS, UBE-MG, SAN-SP (F), VDC-PA (H) |

Fonte: Elaborado pelo autor



O número ótimo de terminais indicado pelo modelo foi de 25, os quais seriam: Água Boa – MT, Aruanã – MT, Balsas – MA, Cáceres – MT, Cascavel – PR, Corumbá – MS, Cuiabá – MT, Dourados – MS, Goiânia – GO, Itacoatiara – AM, Itaqui – MA, Jataí – GO, Maracaju – MS, Paranaguá – PR, Ponta Porã – MS, Rondonópolis – MT, Santos – SP, Sorriso – MT, São Simão – GO, Santarém – PA, Teresina – PI, Três Lagoas – MS, Uberlândia – MG e Vila do Conde – PA.

A maior parte das regiões de oferta está no Estado do Mato Grosso, o maior produtor de soja do país. Os grandes volumes dessa região podem ser transportados por ferrovia até os portos de Santos e Santarém, e por hidrovia até Vila do Conde a partir dos terminais intermodais de Cuiabá - MT, Água Boa – MT e Rondonópolis - MT. Já o grão produzido no estado do Mato Grosso é escoado pelo ferroviário até o porto de Paranaguá. Porém, uma quantidade considerável de soja também é enviada pelos portos de Itacoatiara via hidrovia e para Itaqui por ferrovia.

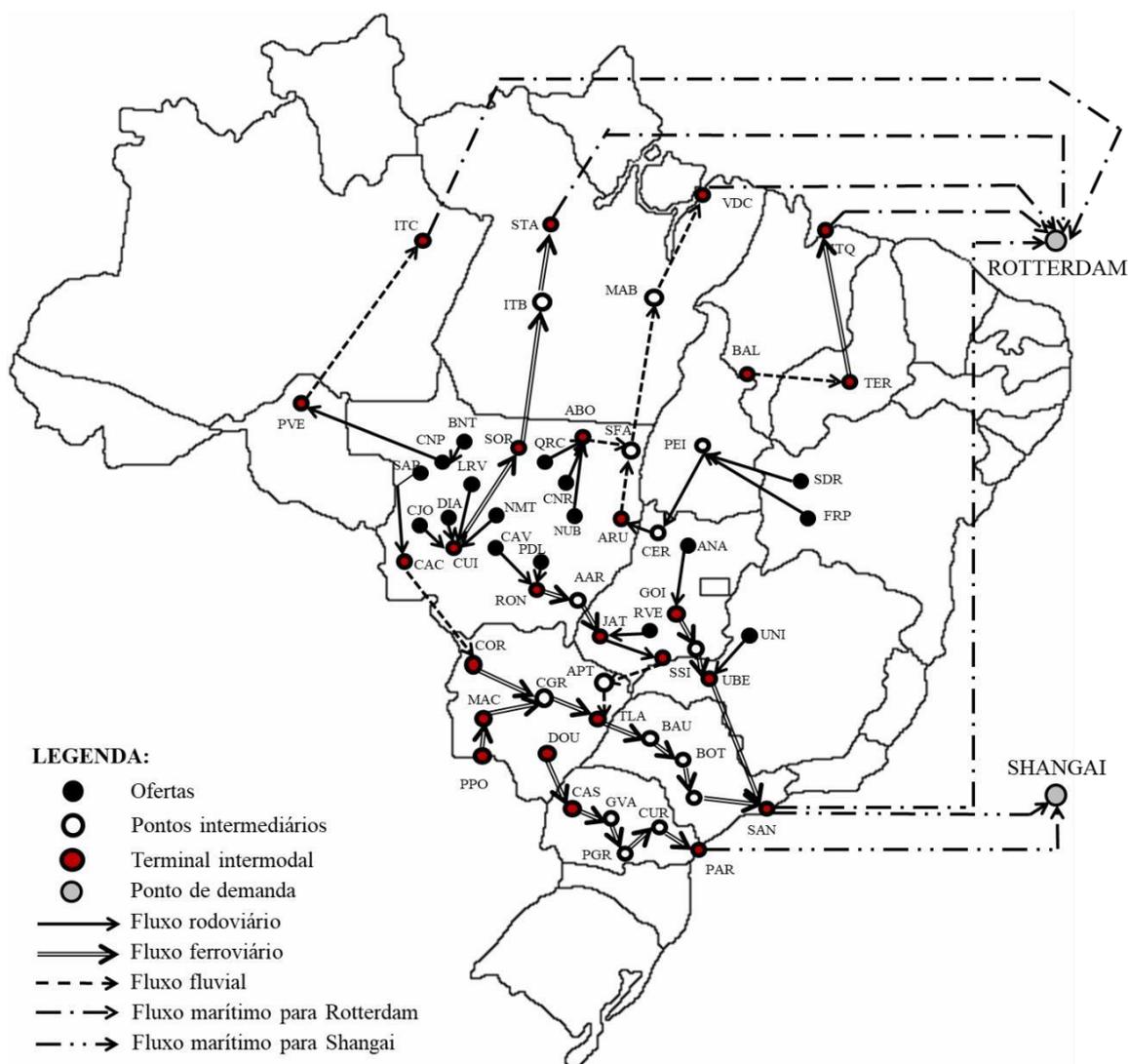
É importante destacar que, com $p = 13$ e $p = 14$, o porto de Itaqui abre somente um terminal rodoviário, já em $p = 15$ terminais, o porto de Itaqui abre além de um terminal rodo-marítimo, também é aberto um ferroviário, sendo que com essa mesma quantidade de terminais, em Paranaguá abre um terminal rodo-marítimo e a cidade de Três Lagoas um terminal rodoferroviário. A partir de $p = 20$ terminais, as alterações ocorrem na quantidade escoada por cada porto, sendo que o terminal rodo-marítimo em Itaqui não foi aberto, permitindo chegadas a esse porto somente por ferrovia.

A solução encontrada por Almeida *et al.* (2016) utiliza 12 terminais e tem um custo variável de R\$3.044.675.475,00, sendo inferior em número de terminais e custo encontrado pelo modelo aplicado a nova rede, que foi de 25 e R\$ 7.358.224.034,00, respectivamente, vale ressaltar que ambas as redes não são capacitadas.

Na solução ótima, os terminais mais significativos para a rede são Água Boa – MT, Cuiabá – MT, Aruanã – MT, Maracaju – MS, Uberlândia – MG, Goiânia – GO, Jataí – GO, Vila do Conde – PA e Santos – SP, por serem pontos de transbordo das maiores quantidades do grão. Como forma de representar as rotas definidas pela solução ótima, temos a figura 1.



Figura 1: Rotas apresentadas pela rede da soja



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.2 Rede de fluxo de Importação do fertilizante

Utilizando o mesmo modelo anterior, foi elaborado um fluxo de volta onde prevaleceu as mesmas premissas anteriormente utilizadas, sendo que os pontos de destino dos fertilizantes importados são os mesmos pontos de produção da soja, portanto se variou o valor do parâmetro p no modelo para $p = 1, 2, \dots, 12$, afim de obter a quantidade de terminais ótimos a serem instalados para atendimento da demanda, ou seja, a solução ótima.



Assim como no modelo anterior, verifica-se a inviabilidade da rede com menos de 3 terminais por insuficiência de malha e por custo a implementação de até 9 terminais também não é aceitável. Portanto, de acordo com o resultado apresentado na tabela 10, pode ser considerada a abertura de o mínimo 10 terminais, sendo que a solução ótima encontrada seria de 11 para que o custo seja minimizado, sendo seu custo de R\$ 721.111.252,60. Com esse resultado foram abertos os seguintes terminais: Santarém – PA, Vila do Conde – PA, Itaquí – MA, Água Boa – MT, Cuiabá – MT, Sorriso – MT, Jataí – GO, Maracaju – MS, Uberlândia – MG, Campo Grande – PR, Santos – SP.

Tabela 10: Custo totais em função do número de terminais instalados na rede do fertilizante

| Valor de P | Custo | Terminais Instalados |
|------------|--------------------------------------|--|
| 1 | - | - |
| 2 | - | - |
| 3 | 6.585.313.885.000.000.000.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (R) |
| 4 | 4.490.557.666.000.000.000.000.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG |
| 5 | 2.925.879.688.000.000.000.000.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO |
| 6 | 2.333.629.705.000.000.000.000.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS |
| 7 | 884.187.739.900.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS, MAC-MS |
| 8 | 438.117.755.800.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS, MAC-MS, STA(F) |
| 9 | 94.435.750.230.000,00 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS, MAC-MS, STA(F), CUI-MT |
| 10 | 726.810.747,40 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS, MAC-MS, STA(F), CUI-MT, VDC-PA (H) |
| 11 | 721.111.252,60 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS, MAC-MS, STA(F), CUI-MT, VDC-PA (H), SOR-MT |
| 12 | 721.111.252,60 | ABO-MT, ITQ-MA (R), SAN-SP (F), UBE-MG, JAT-GO, CGR-MS, MAC-MS, STA(F), CUI-MT, VDC-PA (H), SOR-MT, ITB-PA |

Fonte: Elaborado pelo autor

A maior região de demanda é o Mato Grosso pois concentra a maior área plantada do grão com aproximadamente 9.020.661 hectares, e para o estado, os volumes demandados de fertilizantes são conduzidos uma parte pelo porto de Vila de Conde, de onde segue por modal hidroviário para o terminal de Água Boa e posteriormente continuam por rodovias até os municípios de destino, porém, a maior quantidade da demanda das cidades são transportadas por ferrovia desde o porto de Santarém – PA para o terminal de Cuiabá afim de ser distribuído para os seus destinos finais.

O estado do Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais tem suas

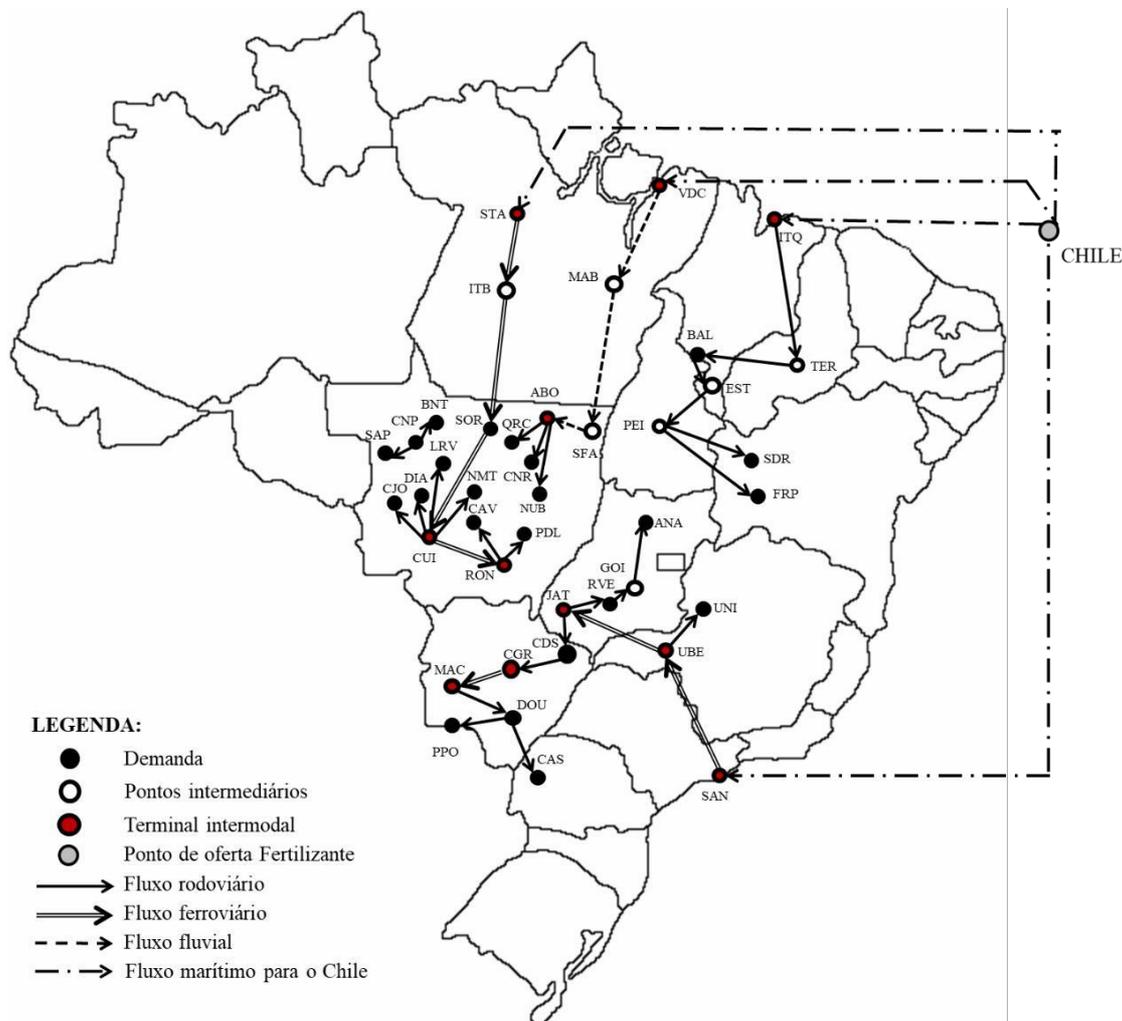


necessidades do produto atendidas pelo porto de Santos, que sucessivamente avançam por ferrovia até o terminal de Uberlândia que será responsável por distribuir a demanda do estado de Minas Gerais por modal rodoviário, enquanto o remanescente segue por ferrovia ao terminal de Jataí, onde o volume de fertilizante será partilhado entre os municípios de destino no estado de Goiás e Mato Grosso do Sul. Vale destacar que a quantidade da mercadoria a ser entregue em MS e PR passam pela cidade de Chapadão do Sul com destino ao terminal de Campo Grande para mais tarde seguir por ferrovia até o terminal de Maracaju e desembarcar nos seus pontos finais por rodovias.

O volume de fertilizantes que chega pelo porto de Itaquí será o responsável por abastecer o mercado dos estados do Maranhão e da Bahia exclusivamente por modal rodoviário.

Nessa rede foi possível destacar que na solução ótima, se abre um terminal rodoferroviário em Campo Grande – PR, que apesar de não ser um terminal no fluxo de ida, pode ser considerada uma cidade de grande fluxo exportação de soja por ferrovias. O mesmo ocorre com Sorriso – MT e Goiânia – GO. Também foi possível verificar a importância de alguns pontos também utilizados pela soja, sendo esses, com maior fluxo do produto, os terminais de Cuiabá – MT, Maracaju – MS, Uberlândia – MG, Santos – SP, Vila do Conde – PA. Como forma de melhor representar as rotas definidas pela solução, temos a figura 2, que apresenta os pontos utilizados na rede.

Figura 2: Rotas apresentadas pela rede do fertilizante



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3 Rede de fluxo de Importação do trigo

Para essa rede foi utilizado o mesmo modelo, porém se fez necessária a mudança de alguns pontos de destino, onde foram inseridas as localidades de Mafra – SC e Colônia – SP, devido as grandes demandas por trigo dos estados de Santa Catarina e São Paulo, mas mantendo a utilização da mesma malha. Nesse teste variou-se o valor do parâmetro p no modelo para $p = 1, 2, \dots, 9$, com o objetivo de achar a solução ótima.

Os resultados desse experimento mostram que é inviável abrir menos de 3 terminais, bem como expandir até 7 terminais, pois os custos são consideravelmente elevados conforme demonstrado na tabela 11. Entretanto, uma vez que abertos os 8 terminais, o custo apresenta um valor de R\$ 106.149.270,60.



Tabela 11: Custo totais em função do número de terminais instalados na rede do trigo

| Valor de P | Custo | Terminais Instalados |
|------------|------------------------|--|
| 1 | - | - |
| 2 | - | - |
| 3 | 510.976.106.600.000,00 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R) |
| 4 | 172.138.105.600.000,00 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R), SFS-SC (R) |
| 5 | 93.038.106.110.000,00 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R), SFS-SC (R), UBE-MG |
| 6 | 22.806.106.040.000,00 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R), SFS-SC (F), UBE-MG, GVA-PR |
| 7 | 4.500.106.105.000,00 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R), SFS-SC (F), UBE-MG, GVA-PR, MAF-SC |
| 8 | 106.149.270,60 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R), SFS-SC (F), UBE-MG, GVA-PR, MAF-SC, JAT-GO |
| 9 | 106.149.270,60 | ITQ-MA (R), SAN-SP (F), STA-PA (R), SFS-SC (F), UBE-MG, GVA-PR, MAF-SC, JAT-GO, PEI-TO |

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante frisar, que por não conhecer a demanda de cada município nessa rede pelo cereal devido a insuficiência de dados, a demanda dos destinos finais foi estabelecida com base nas demandas estaduais de trigo importado e, portanto, acabou tornando a rede mais genérica e com menos pontos finais. Outro ponto a ser destacado é o fato de que o estado do Mato Grosso que era bastante presente nas redes acima, de soja e fertilizantes, não possui demanda de trigo *in natura* catalogada nos dados levantados, portanto essa parte da rede foi desprezada pelo modelo.

Na melhor solução gerada pelo *software*, podemos ver que o número ótimo de terminais abertos nessa rede são 8 e são estabelecidos como sendo: Santarém – PA, Itaqui – MA, Jataí – GO, Uberlândia – MG, Santos – SP, Guarapuava – PR, Mafra – SC e São Francisco do Sul – SC.

Pode-se perceber que a demanda dos estados de Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul são atendidas pelo porto de São Francisco do Sul, que realiza o transbordo para o modal ferroviário com o propósito de enviar parte dos produtos a Mafra e o restante seguirá ao terminal de Guarapuava, onde será distribuído por rodovias até as cidades finais. Esse ponto em particular não é interessante ser considerado uma vez que não é um porto aberto nas demais redes, e o foco do estudo é encontrar pontos similares com a rota da soja para diminuir os custos de transporte dos produtores.

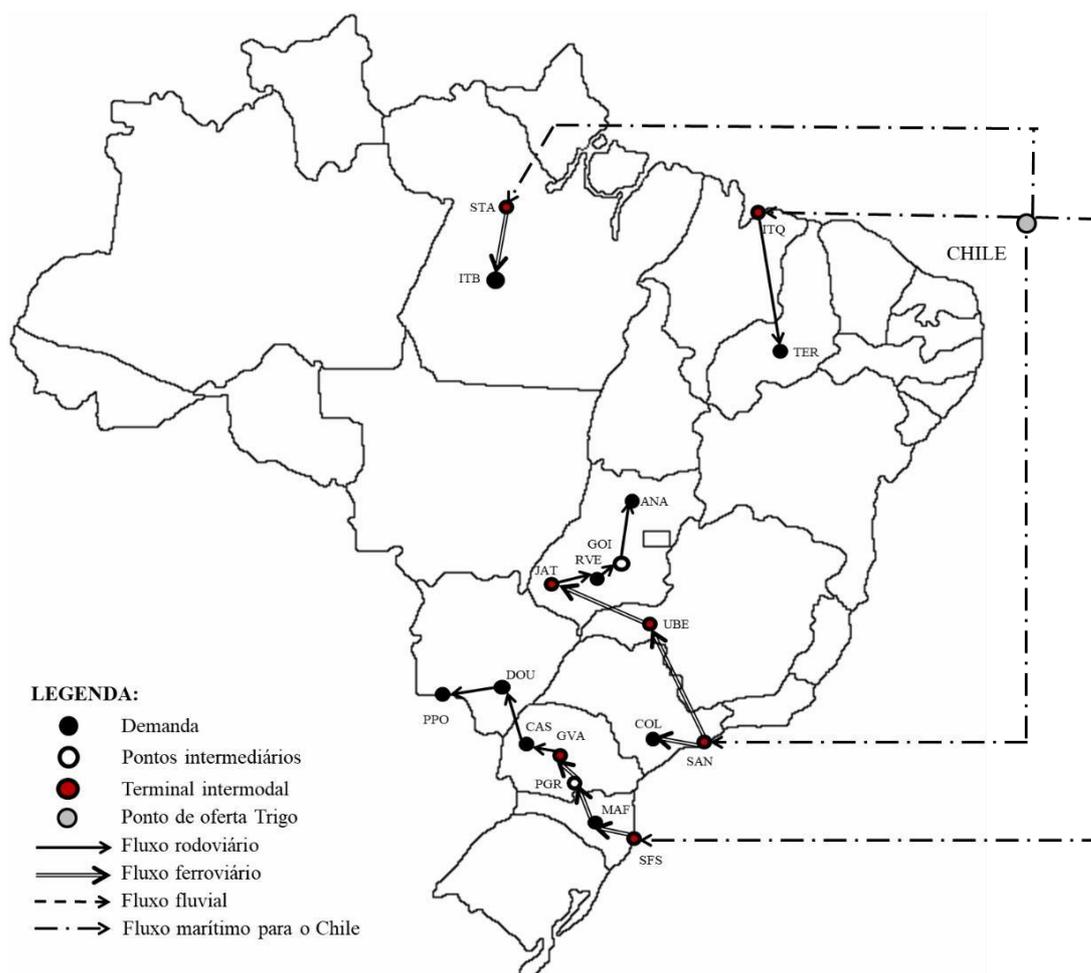
Já o porto de Santos é o responsável por despachar o trigo aos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás através de um terminal ferro-marítimo que entrega parte a



Colônia e parte segue ao terminal ferroviário de Uberlândia que irá sanar a necessidade de trigo do estado de Minas e encaminhar o remanescente por ferrovia até o terminal de Jataí, onde posteriormente terá como destino final a cidade de Anápolis por rodovia.

Os portos de Santarém e Itaqui nessa rede abrem apenas terminais rodoviários e transportam pequenas quantidades do cereal pela região Norte e Nordeste do país, uma vez que essa *commodity* possui transbordo em outras localidades não consideradas na malha, os pontos utilizados por essa solução podem ser caracterizados pela figura 3.

Figura 3: Rotas apresentadas pela rede do trigo



Fonte: Elaborado pelo autor

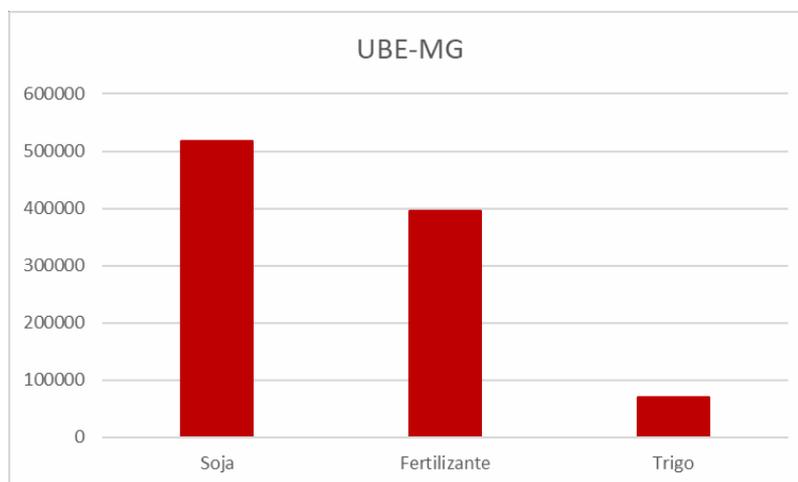


4.3.4 Similaridades dos fluxos de exportação e importação

Após a realização dos testes com os fluxos da soja, do fertilizante e do trigo, foi possível afirmar que existem similaridades entre as malhas viárias utilizadas pelos produtos. Com os dados utilizados na rede, foi viável a abertura cinco terminais correlatos, sendo eles: Uberlândia – MG, Santos – SP, Itaqui – MA, Jataí – GO e Santarém – PA, onde a quantidade de produtos movimentada por cada terminal pode ser visualizada pelos gráficos de 3 a 7, respectivamente.

No gráfico 3 pode ser verificado que o fluxo de volta no terminal é de aproximadamente 89,96% do fluxo representado pela soja. Portanto, sua importância para a malha atual é bastante significativa.

Gráfico 3: Quantidade escoada pelo terminal de Uberlândia

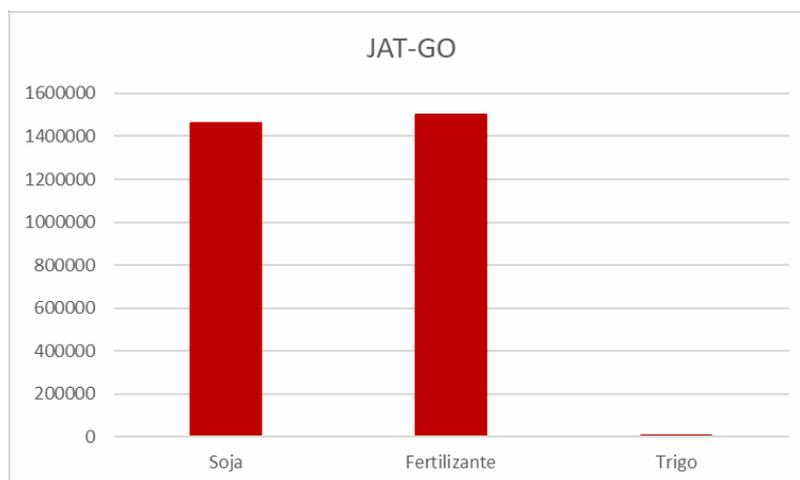


Fonte: Elaborado pelo autor

O terminal de Jataí, apresentado no gráfico 4 possui uma considerável relevância para o fluxo de importação de produtos, sendo que na configuração atual da rede, o volume movimentado representa 3,16% a mais do fluxo de exportação. Dessa forma, os custos de transporte da soja poderiam ser minimizados nesse ponto da malha.



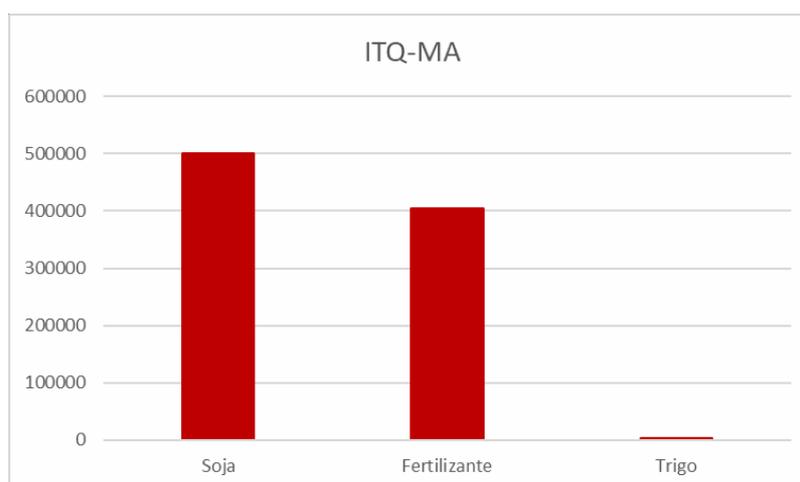
Gráfico 4: Quantidade escoada pelo terminal de Jataí



Fonte: Elaborado pelo autor

A maioria dos terminais em comum são instalados em portos, sendo o terminal de Itaqui (gráfico 5) o mais significativo para o fluxo da volta, uma vez que equivale a cerca de 81,3% do fluxo movimentado de soja, o que não ocorre nos terminais de Santos (gráfico 6) e Santarém (gráfico 7), uma vez que a parcela de transbordo de cargas de fertilizantes e trigo nesses terminais apresentam os valores de 13,88% e 7,86% respectivamente. Apesar de corresponder a uma pequena parcela, ainda sim podem vir a consideráveis no montante dos custos.

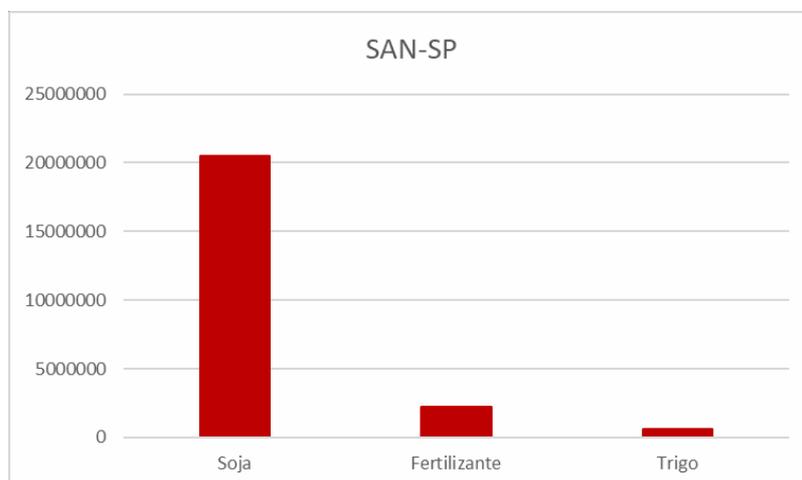
Gráfico 5: Quantidade escoada pelo terminal de Itaqui



Fonte: Elaborado pelo autor

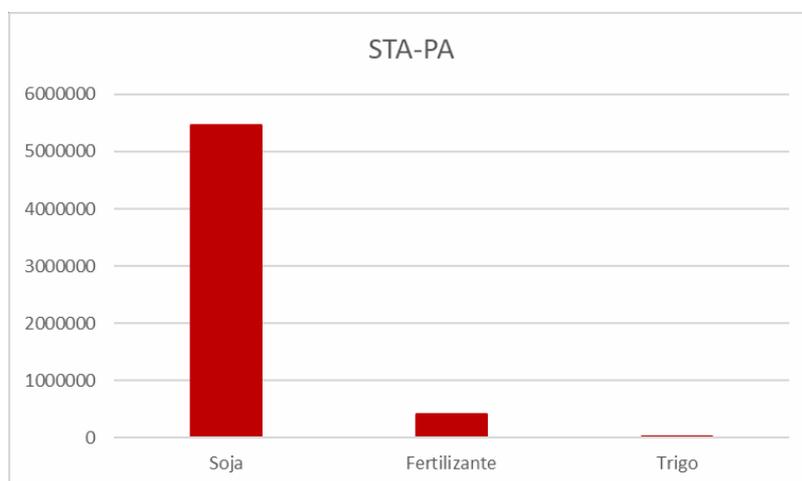


Gráfico 6: Quantidade escoada pelo terminal de Santos



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 7: Quantidade escoada pelo terminal de Santarém



Fonte: Elaborado pelo autor



5 CONCLUSÃO

A soja ainda é considerada uma das principais *commodities* do país, com cerca de 28% de representatividade nas exportações do Brasil, e essa quantidade fica cada vez mais significativa com as crescentes safras recordes ocorridas nos últimos tempos. A grande questão é, que devido ao processo de interiorização das lavouras de soja e a grande concentração da produção nos estados do centro-oeste brasileiro, a precariedade da malha viária do país se torna cada vez mais evidente, e essa deficiência das vias de acesso e dos pontos de apoio elevam os custos de transporte de cargas e prejudicam a competitividade do Brasil frente aos países concorrentes no mercado internacional.

Um dos maiores gargalos observados ainda é a distância entre os municípios e os portos, estruturas modais sucateadas e alto valor do frete. Fica evidente que é preciso investimento por parte do setor público e privado para melhoria da rede de transportes, onde seja elaborado um plano de transporte integrado com objetivos e metas de longo prazo.

Mesmo com os grandes aumentos de produção e dos recentes investimentos na malha brasileira, ainda se pode considerar ineficiente o escoamento do grão no país, devido ao desenvolvimento desproporcional entre a cadeia produtiva da soja e o setor de transportes, uma vez que para que ocorra eficiente deslocamento dos grandes volumes produzidos do grão se faz necessário um sistema logístico de grande capacidade e baixo custo unitário. Como forma de minimizar os custos de movimentação das cargas, opta-se pela intermodalidade, afim de contornar os problemas logísticos aproveitando melhor as opções modais disponíveis e ampliar a geração de economia.

Vale ressaltar que os custos de frete da soja também podem ser minimizados com o auxílio da política de fluxo reverso, o que atualmente não é praticado no setor. No presente estudo foi avaliado a possibilidade de introdução como carga reversa dos fertilizantes agrícolas e do trigo importados para o Brasil, e com base nos dados avaliados, foi identificada uma compatibilidade aceitável entre a malha utilizada pelos produtos. Essa afirmação se tornou admissível através dos resultados obtidos nos testes realizados, onde foi possível verificar os fluxos de escoamento da soja e determinar rotas plausíveis de importação de fertilizantes e trigos afim de obter um aproveitamento



da malha preexistente na exportação e diminuir os custos associados a esse traslado.

Como pode ser observado no capítulo 4, o modelo apresentou dados coerentes com o objetivo apresentado. Nos testes realizados foram identificados grandes potenciais para novas pesquisas com cenários futuros, pois fica claro que a malha utilizada na rede de exportação estudada, pode ser reutilizada no processo de transporte de cargas de retorno e melhorar os custos praticados na atualidade. Porém, vale destacar que por se tratar de um modelo realista, mas simplificado, não foi possível tirar uma conclusão definitiva sobre o sistema viário real.

Existe um grande potencial para implementação das cargas de retorno, pois muitos dos municípios que são grandes produtores de grãos, tem necessidades de adquirir produtos importados para as lavouras, contudo, é necessário melhorar a disponibilidade de arquivos de dados sobre os fluxos de importação de produtos e seus destinos finais afim de estabelecer um estudo, mas efetivo sobre os benefícios da logística reversa no agronegócio.

Outras perspectivas interessantes para a realização de trabalhos futuros incluem ainda a formulação de modelos que incluam múltiplos produtos, capacidade dos terminais, e que considerem, por exemplo, custos fixos de implementação de terminais e custos variáveis côncavos, uma vez que o atual modelo utiliza de custos lineares.



6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S.; AMARAL, M.; MORABITO, R. **Um estudo sobre localização de terminais intermodais na rede de escoamento da soja.** São Carlos: Production, 26 (3), 562-580, jul./set, 2016.

ALMEIDA, M. S. **Localização de terminais intermodais na rede de escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação.** Tese (Mestrado) – UFSCar, São Carlos, 2010.

ALMEIDA, C. A.; SELEME, R.; NETO, J. C. **Rodovia Transoceânica: uma alternativa logística para o escoamento das exportações da soja brasileira com destino à China.** Brasília: Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 51, n.2, 2013.

AMARAL, M.; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. **Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação.** São Carlos: Revista Gestão & Produção, v. 19, n.2, Pág.717-732, 2012.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia.** Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2007.

ARNOLD, P.; PEETERS, D.; THOMAS, I. **Modeling a rail/road intermodal transportation system.** Transportation Research Part E, v. 40, p. 255-270, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO. **Importação do Trigo.** Disponível em: <http://abitrigo.com.br/associados/arquivos/importacao_trigo.pdf>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS, ANDA. **Mercado de Fertilizantes – Janeiro – Julho/2017.** Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>>. Acesso em: 29 de julho de 2017.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial.** 5ªed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLIS, A; GOLIAS, J. (2004). **Towards the improvement of a combined**



transport chain performance. European Journal of Operational Research, 152, 420-436.

BARBOZA, M. A. M. **A ineficiência da da infraestrutura logística do Brasil.** Disponível em: <<http://www.revistaportuaria.com.br/noticia/16141>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BEILock, R.; GARROD, P.; MIKLIUS, W. **Freight charge variations in truck transportation markets: price discrimination or competitive pricing?.** American Agricultural Economics Association, v.68, n.2, p.226-236, 1986.

BULHÕES, R; CAIXETA FILHO, J. V. **Análise da distribuição logística da soja na região centro-sul do Brasil através de um modelo de equilíbrio espacial.** Teoria e Evidência Econômica. 8(15). p.11-23. 2000.

CAIXETA FILHO, José V. **Logística para a agricultura brasileira.** Revista Brasileira de Comércio Exterior. São Paulo, v. 24, n. 103, p. 18-30, 2010.

COLLE, Célio A. **A cadeia produtiva do trigo: Contribuição para a geração de emprego e renda.** Tese (Mestrado) - UFGRS. Porto Alegre, 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB – **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/16.** 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2017.

CORREA, V. H. C; RAMOS, P. **A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas.** Brasília: Rev. Econ. Sociol. Rural vol.48, n.2, 2010.

COSTA, A. C. P. B. et al. **Agronegócio Brasileiro.** Características, Desempenho, Produtos e Mercados. São Paulo: FIESP, 2008.

DEMO, P. **Pesquisa e construção do conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas.** Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1994.

DUBKE, A. F. **Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja.** Doutorado. Pontifícia Universidade



Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Consumo e produção de fertilizantes no Brasil**. Departamento de informação e documentação, Brasília, 1981. Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/1981/doc/doc_02.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2016.

FARMNEWS. **Principais importadores de soja do Brasil**. Disponível em: <<http://www.farmnews.com.br/gestao-pecuaria/principais-importadores-de-soja-do-brasil/>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

FERREIRA, V. **Importação brasileira de trigo cresceu 33% em 2016**. 2017. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Trigo/noticia/2017/01/importacao-brasileira-de-trigo-cresceu-33-em-2016.html>>. Acesso em: 18 de junho de 2017.

FLEURY, P. F. **A infra-estrutura e os desafios logísticos das exportações brasileiras**. 2005. Disponível em <<http://www.ilos.com.br/web/a-infraestrutura-e-os-desafios-logisticos-das-exportacoes-brasileiras>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT – **Perspectivas agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024**. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

FOURER, R.; GAY, D. **AMPL: A modeling language for mathematical programming**. 1 ed. Cole Publishing Company, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. 2015. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2015/lspa_201512.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2016.

INSTITUTO MATOGROSSENSE DE ECONOMIA E PECUARIA. IMEA – **Entendendo o mercado da soja**. 2015. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2015_06_13_Paper_jornalistas_boletim>



s_Soja_Versao_Final_AO.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2017.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. INPI. **Fertilizantes**. Disponível em: < <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132> >. Acesso em: 12 fev. 2017.

JUNIOR MARTHA, G. B; VILELA, L. **Eficiência do uso de fertilizantes na integração lavoura-pecuária do Cerrado**. Revista de Política Agrícola, Ano XVII – Nº 2 – Abr./Maio/Jun., 2008.

HAYATI, D; KARAMI, E. & SLEE, B. **Combining qualitative and quantitative methods in the measurement of rural poverty**. Social Indicators Research, v.75, p.361-394, springer, 2006.

MEREGE, A. A; ASSUMPCÃO, M. R. P. **Logística para exportação da soja paranaense**. XXII Congresso Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. Curitiba, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. AGROSTAT – **Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro**, 2011. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 11 dez. 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. AGROSTAT – **Fertilizantes**, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/importacao/fertilizantes>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

MORABITO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação**. In: MIGUEL, P. A. C. Metodologia de Pesquisa em engenharia de produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Campus, 2012. Pág. 169-186.

NAKANO, D; TURRIONI, J; LEE HO, L; MORABITO, R; MARTINS, R; & PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

NEHMI, V. **Por que commodities são cíclicas?**. Disponível em: <<https://verios.com.br/blog/porque-commodities-sao-ciclicas/>>. Acesso em: 30 ago. 2017.



NETO, J. G. M. **O Mercado de exportação de soja e os portos brasileiros.** ANTAQ, 2015.

OJIMA, A. L. R. O. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio especial de programação quadrática.** Dissertação. Universidade Estadual de Campinas Campinas, 2004.

OLIVEIRA, C.F; ROSA, M.J; CAXEITA FILHO, J. V; **Estimativa da oferta de fertilizantes como carga de retorno no ambiente portuário brasileiro entre 2005 e 2009.** Informações Econômicas, SP, v.40, n.9, p.45-50, 2010.

OGASAWARA, E; KULAIF, Y; FERNADES, F. R. C. **A Indústria brasileira de fertilizantes (cadeia NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio): projeções de 2010 a 2030.** FERNADES, FRC; LUZ, AB da; CASTILHOS, ZC (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, MCT, p. 145-168, 2010.

PONTES, H.; CARMO, B.; PORTO, A. **Problemas logísticos na exportação brasileira da soja em grão.** Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 4, n. 2, p. 155-181. 2009.

RIPOLL, F.G. **Proposta de uma análise logística no agronegócio como fator competitivo para a distribuição e comercialização da soja em grão no Estado de Mato Grosso.** Custos e Agronegócio on-line, v.8, n.1, 2012.

SISTEMA MAXWELL. **Logística da soja.** PUC-RIO. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.pucRio.br/10514/10514_4.PDF>. Acesso em: 29 jan. 2017.

TAVARES, Carlos Eduardo Cruz. **Fatores críticos à competitividade da soja no Paraná e no Mato Grosso.** CONAB. 2004.

USDA. UNITED STATES. **Department of Agriculture. Market and trade data.** 2014. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psd-Query.aspx>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

WILL, M; BERTRAND, J; FRANSOO, J. C. **Operations management research methodologies using quantitative modeling.** International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.



7 ANEXO A – LISTAS DE SIGLAS DAS CIDADES UTILIZADAS NOS DADOS

| Sigla | Localidade | Sigla | Localidade |
|-------|-----------------------|-------|----------------------------|
| AAR | Alto Araguaia | COR | Corumbá |
| ABO | Água Boa | CRA | Cachoeira Rasteira |
| ACA | Açailândia | CUI | Cuiabá |
| ANA | Anápolis - GO | CUR | Curitiba |
| APT | Aparecida do Taboado | DIA | Diamantino |
| ARU | Aruanã | DIV | Divinópolis |
| ATA | Alto Taquari | DOU | Dourados |
| BAL | Balsas | EPA | Euclides da Cunha Paulista |
| BAU | Bauru | EST | Estreito |
| BEO | Belo Horizonte | FRP | Formosa do Rio Preto |
| BOT | Botucatu | GOI | Goiânia |
| BRA | Brasília | GVA | Guarapuava |
| BRN | Brasnorte | IPA | Ipameri |
| CAC | Cáceres | ITA | Itapeva |
| CAR | Careiro | ITB | Itaituba |
| CAS | Cascavel | ITC | Itacoatiara |
| CAV | Campo Verde | ITG | Itaguaí |
| CDS | Chapadão do Sul | ITQ | Itaqui |
| CER | Ceres | JAT | Jataí |
| CGR | Campo Grande | LRV | Lucas do Rio Verde |
| CJO | Campos de Júlio | LON | Londrina |
| CNP | Campo Novo do Parecis | MAB | Marabá |
| CNR | Canarana | MAC | Maracaju |
| COL | Colônia | MAF | Mafrá |



| Sigla | Localidade | Sigla | Localidade |
|-------|-----------------------|-------|---------------------|
| MAR | Maringá | SMP | Santa Maria do Pará |
| NXA | Nova Xavantina | SOR | Sorriso |
| NMT | Nova Mutum | SPA | São Paulo |
| NUT | Nova Ubiratã | SSI | São Simão |
| OUR | Ourinhos | STA | Santarém |
| PAN | Panorama | TER | Teresina |
| PAR | Paranaguá | TLA | Três Lagoas |
| PDL | Primavera do Leste | UBE | Uberlândia |
| PED | Pederneiras | UNI | Unai |
| PEI | Peixes | UVI | União da Vitória |
| PEP | Presidente Epitácio | VDC | Vila do Conde |
| PGR | Ponta Grossa | VIL | Vilhena |
| PPO | Ponta Porã | VIT | Vitória |
| PVE | Porto Velho | | |
| QRC | Querência | | |
| RON | Rondonópolis | | |
| ROT | Rotterdam | | |
| RVE | Rio Verde | | |
| SAN | Santos | | |
| SAP | Sapezal | | |
| SDR | São Desidério | | |
| SFA | São Félix do Araguaia | | |
| SFS | São Francisco do Sul | | |
| SHA | Shanguai | | |