



BRUNA FERNANDA RIBEIRO LOPES



Dinâmica da logística do milho brasileiro:
uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial.

CAMPINAS
2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia elétrica e de Computação



BRUNA FERNANDA RIBEIRO LOPES

Dinâmica da logística do milho brasileiro:
uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial.

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Elétrica, na Área de Automação.

Orientador: Prof. Dr. Akebo Yamakami
Co-orientador: Prof^a Dr^a Andréa Leda Ramos de Oliveira

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA BRUNA
FERNANDA RIBEIRO LOPES E ORIENTADA PELO
PROF. DR. AKEBO YAMAKAMI.

CAMPINAS
2015

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

L881d Lopes, Bruna Fernanda Ribeiro, 1987
Dinâmica da logística do milho brasileiro: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial / Bruna Fernanda Ribeiro Lopes. – Campinas, SP [s.n.], 2015.

Orientador: Akebo Yamakami.

Coorientador: Andréa Leda Ramos de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Milho. 2. Transporte. 3. Agroindústria. 4. Modelos econométricos. I. Yamakami, Akebo, 1947-. II. Oliveira, Andréa Leda Ramos de, 1977-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Brazilian corn logistic dynamic: an application of a spatial equilibrium model

Palavras-chave em inglês:

Corn

Transport

Agribusiness

Econometric models

Área de concentração: Automação

Titulação: Mestra em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

Akebo Yamakami [Orientador]

Christiano França da Cunha

Priscila Cristina Berbet Rampazzo

Data de defesa: 30-01-2015

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidata: Bruna Fernanda Ribeiro Lopes

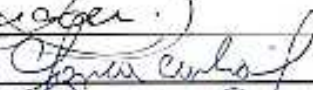
Data da Defesa: 30 de janeiro de 2015

Título da Tese: "Dinâmica da Logística do Milho Brasileiro: uma Aplicação de um Modelo de Equilíbrio Espacial"

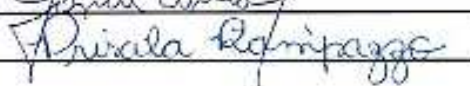
Prof. Dr. Akebo Yamakami (Presidente):



Prof. Dr. Christiano França da Cunha:



Profa. Dra. Priscila Cristina Berbert Rampazzo:



RESUMO

A produção de milho no Brasil, juntamente com a de soja, contribui significativamente para a economia nacional. O milho tem grande parte de sua produção voltada para o abastecimento interno, utilizado tanto para a indústria de alimentos quanto para ração animal. Recentemente, as exportações desse cereal vêm sendo realizada em quantidades expressivas e contribuindo para maior sustentação dos preços internos. Porém, os principais mercados consumidores do milho brasileiro estão localizados na Ásia e as principais regiões produtoras estão distantes dos portos exportadores, percorrendo longas distâncias para chegar ao seu destino. Dessa forma, os custos com transportes e armazenagem são os principais fatores que limitam o potencial competitivo do milho brasileiro. Este trabalho parte da hipótese de que a redução nos custos com transportes é capaz de promover o aumento da competitividade do milho no cenário internacional e tal feito será possível através da prática da intermodalidade. A proposta é utilizar um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática para otimizar a distribuição logística do milho brasileiro. Além disso, são propostos três cenários considerando novas rotas de transporte e novos projetos viários. Os resultados no Cenário 1, é obtido através da realidade atual praticada pelo setor, considerando os principais gargalos para escoamento da produção. Já os resultados obtidos nos demais Cenários, aos quais foram adicionadas possíveis rotas futuras e viáveis, demonstraram uma redução de custos logísticos. A conclusão que se pode obter, é que com investimentos nas rotas futuras a partir de projetos de infraestrutura de transporte já em curso, haverá uma grande melhora no sistema logístico, além de confirmar a hipótese de que a redução desses custos aumentará a competitividade do milho nacional diante do mercado externo.

Palavras-chave: Milho, transporte, agroindústria, modelos econométricos

ABSTRACT

Corn production in Brazil, along with soy, contributes significantly to the national economy. Maize has much of its production for domestic supply, used for both the food industry and for animal feed. Recently, exports of cereals are being held in reasonable amounts and contributing to greater support of domestic prices. However, major Brazilian corn consumer markets are located in Asia and the main producing regions are distant from exporting ports, traveling long distances to get to your destination. Thus, the costs of transport and storage are the main factors that limit the competitive potential of the Brazilian corn. This work on the assumption that the reduction in transport costs is able to promote increased competitiveness of corn on the international scene and such a feat is possible through the practice of intermodality. The proposal is to use a spatial equilibrium model of quadratic programming to optimize the distribution logistics of Brazilian corn. In addition, it proposes three scenarios considering new transport routes and new road projects. The results in Scenario 1, is obtained by current reality practiced by the industry, considering the main bottlenecks to production flow. Already the results obtained in other scenarios, to which were added and possible future viable routes showed a reduction of logistics costs. The conclusion that one can get, is that with investments in future routes from transport infrastructure projects already underway, there will be a great improvement in the logistics system, and to confirm the hypothesis that the reduction of these costs will increase the competitiveness of corn National before the foreign market.

Keywords: Corn, agribusiness, transportation, Econometric models

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	PANORAMA DA CADEIA DO MILHO.....	5
2.1.	Aspectos da Oferta.....	6
2.2.	Aspectos da Demanda.....	11
3.	A IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA AGROINDUSTRIAL	14
3.1.	Infraestrutura Logística.....	17
3.1.1.	Sistema Rodoviário.....	20
3.1.2.	Sistema Ferroviário.....	23
3.1.3.	Sistema Hidroviário	26
3.1.4.	Eficiência e custo de transporte	28
3.2.	Caracterização das Rotas Logísticas do Milho Brasileiro	31
4.	METODOLOGIA.....	34
4.1.	Modelo de equilíbrio geral computável	34
4.2.	Modelo de equilíbrio espacial.....	35
4.3.	Problema de Complementariedade Mista (PCM).....	38
4.4.	PCM aplicado ao Milho Brasileiro	43
4.5.	Dados utilizados no Modelo e apresentação dos Cenários.....	49
5.	RESULTADOS	54
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

.

Dedico às pessoas que marcam a minha vida para sempre, umas porque me vão ajudando na construção, outras porque me apresentam projetos de sonho e outras ainda porque me desafiam a construí-los.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que em sua infinita sabedoria sempre me guiou para o caminho certo, mesmo cheio de obstáculos e tropeços, se hoje estou aqui é porque de certa forma me inspirei no Pai.

Agradeço a minha mãe Neusa, por me apoiar e me cobrar, do jeito dela, à minha dedicação aos estudos e à minha carreira, para que eu pudesse ter um futuro bom e promissor. Obrigada mãe!

Ao meu namorado e companheiro Fabricio Ferreira Machado, por me apoiar e acreditar que eu sou capaz, dizendo-me para jamais desistir de meus sonhos e vibrando com minhas conquistas. Obrigada por sempre me ajudar e estar ao meu lado!

Ao meu Orientador Prof. Dr. Akebo Yamakami, por ter me dado essa grande oportunidade, que acreditou em meu potencial e me deixou à vontade para seguir meu caminho durante os estudos. Obrigada pelas dicas e cobranças!

À minha querida amiga e Co-orientadora Prof^a Dr^a Andréa Leda Ramos de Oliveira, que desde a graduação acreditou que eu poderia ir além. Amiga que entre muitos “puxões de orelhas” demonstrou todo seu carinho para com minha pessoa e meu trabalho, ou melhor nosso trabalho, pois você faz parte dele. Sem sua ajuda, nada disso seria realidade. Obrigada por acreditar em mim! E obrigada ainda mais por ter me ajudado tanto!

Aos meus colegas de graduação e irmãos que a vida me deixou escolher. Em especial Flávia, Jamile, Jean Ferreira, Jean Gunar, Juliane e Madu, sempre em ordem alfabética, pois todos possuem a mesma importância. Obrigada por me apoiarem nessa longa caminhada!

As minhas companheiras de jornada e trabalho, Calistênia Mascarenhas e Jamile Coleti, obrigada pela confiança em mim depositada para produzirmos belos artigos. E que venham mais!

Ao pessoal da CPG/FEEC, antigo estágio onde que pude aprender o companheirismo. Local que hoje faz parte de minha histórica pessoal e acadêmica. Em especial a Mazé, Edson, Jerusa, Noêmia, os quais pude compartilhar muitas histórias e risadas. Agraço a Camila, Kelly, Mirela e a todos funcionários que contribuíram para que esse trabalho fosse concluído. Agradeço também ao pessoal da CG/FEEC, a querida Vilma, Toninho e Márcio. Agradeço imensamente a Ana Flávia por ter me ajudado durante esses dois anos e meio.

À *Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal* da Pontificai universidade Católica do Chile, em especial ao Prof. Dr. Oscar Melo por ter me aceitado no Programa de Intercâmbio do Santander, o qual me proporcionou uma experiência de vida pessoal e acadêmica fantástica. Obrigada Professor Oscar, pois sem seu aceite eu não teria conhecido uma grandiosa e excelente Faculdade e um país lindo. Agradeço também as

secretárias Nuvia Silva e Lilian Oliva pelo apoio dado durante o processo de intercâmbio. Agradeço às “*chiquillas*” do Departamento de Economia Agraria pelo acolhimento e pelas ótimas conversas. *Muchas gracias por todo!!!*

À querida Bea Carrasco, pessoa maravilhosa que se tornou uma grande amiga que me ajudou em tantas horas difíceis. *Gracias* Bea por me alegrar durante minha estadia com muitas risadas, ótimos vinhos e com todo amor de “*los niños*”!

Meu respeitoso agradecimento aos membros da banca, Profa. Dra. Priscila Cristina Berbet Rampazzo e Prof. Dr. Christiano França da Cunha por terem despendido algumas horas para lerem minha dissertação e pelas ricas sugestões de melhorias em meu trabalho. Obrigada Priscila por sempre ser tão doce e ao mesmo tempo muito segura e polida para dar suas sugestões.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Ao pessoal do DEMIC/FEEC, pelas horas de descontração e aprendizado.

Ao pessoal do laboratório do antigo DT/FEEC e a todos que tive o prazer de conhecer durante esses dois anos e meio de Elétrica.

Ao pessoal da FCA, por muitas vezes me “liberarem” para a qualificação, defesa, e principalmente pelo afastamento, o qual pude realizar meu intercâmbio.

Aos meus professores, que contribuíram para que eu concluísse mais uma etapa dessa jornada acadêmica.

Agradeço a todos meus amigos, que mesmo estando longe, me apoiaram.

E por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para eu finalizar mais essa etapa.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Relação de extensão territorial e transporte de carga.	16
Figura 2: Comparação dos modais de transporte em termos de dimensões de serviços.....	19
Figura 3: Extensão total e pavimentada das rodovias brasileiras, 2013 (mil km).	22
Figura 4: Extensão das rodovias pavimentadas e não pavimentadas, 2014 (km).	22
Figura 5. Principais Ferrovias Brasileiras	26
Figura 6. Principais Hidrovias Brasileiras	27
Figura 7. Equilíbrio internacional de comercialização entre duas regiões	39
Figura 8. Fluxo das rotas entre região de oferta e região de demanda.....	49
Figura 9. Fluxo das rotas entre região de oferta e região de demanda.....	53
Figura 10. Fluxo comerciais por rota de transporte entre região de oferta e região de demanda, Cenário 1.....	60
Figura 11. Fluxo comerciais por rota de transporte entre região de oferta e região de demanda, Cenário 2.....	61
Figura 12. Fluxo comerciais por rota de transporte entre região de oferta e região de demanda, Cenário 3.....	63

Lista de Tabelas

Tabela 1. Produção mundial de milho, países selecionados, safras 2011/12-2014/15 (mil toneladas)	7
Tabela 2. Produção brasileira de milho, safra 2012/13 e 2013/14(mil toneladas).....	8
Tabela 3. Exportação mundial de milho, países selecionados, safras 2011/12-2014/15 (mil toneladas) .	9
Tabela 4. Exportação brasileira de milho, estados selecionados, 2011-2013. (mil toneladas)	10
Tabela 5. Exportação brasileira de milho por país de destino, 2011-2013. (mil toneladas)	10
Tabela 6. Exportação brasileira de milho, por porto de destino, 2011-2013. (mil toneladas)	11
Tabela 7. Consumo mundial de milho, países selecionados, safras 2011/12-2014/15 (mil toneladas) .	12
Tabela 8. Produção brasileira de carne suína, estados selecionados, 2011-2013 (mil toneladas)	13
Tabela 9. Produção brasileira de carne de aves 2011-2013 (mil toneladas).	13
Tabela 10. Idade Média da Frota de Caminhões, 2012.....	23
Tabela 11.: Volumes de oferta, demanda doméstica e demanda internacional, estimativas do modelo (Cenário 1, 2 e 3) e Dados Observados.....	55

Lista de Quadros

Quadro 1: Modais de transporte e os principais produtos transportados.	28
Quadro 2. Características dos custos variáveis e fixos dos modais de transporte.	30
Quadro 3: Parâmetros do modelo, regiões de oferta e demanda do milho (2013/2014).....	51
Quadro 4: Fluxos Comerciais por rota de transporte no Cenário 1 (mil toneladas).	57
Quadro 5: Fluxos Comerciais por rota de transporte no Cenário 2 (mil toneladas).	58
Quadro 6: Fluxos Comerciais por rota de transporte no Cenário 3 (mil toneladas).	59
Quadro 7: Volumes de comercialização de milho obtidos a partir das alterações nas elasticidades-preço de oferta e elasticidade-preço de demanda, Cenários 2. (em mil toneladas)	65
Quadro 8: Descrição das regiões de oferta e demanda consideradas no Modelo.	75
Quadro 9: Descrição das rotas consideradas no Modelo	76

Lista de abreviaturas e siglas

ABIMILHO: Associação Brasileira das Indústrias de Milho

ALL: América Latina Logística

ANTAQ: Agência nacional de Transportes Aquaviários

ANTT: Agência Nacional de Transportes Terrestres

BNDS: Banco Nacional de Desenvolvimento

Cepea: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CNT: Confederação Nacional de Transportes

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA: Estados Unidos da América

FAPRI: *Food and Agricultural Organization of the United Nations*

GAMS: *General Algebraic Modeling System*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDIC: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

PAC: Programa de Aceleração do Crescimento

PCM: Problema de Complementariedade Mista

SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIFRECA – Sistema de Informações de Fretes

USA – *United States of America*

USDA: *United States Department of Agriculture*

.

1. INTRODUÇÃO

A mudança no arranjo espacial da produção agrícola brasileira é um fenômeno recorrente e observa-se, no período recente, um deslocamento das regiões de fronteira. Os negócios agropecuários foram ocupando novos espaços, a exemplo da região Norte e parte do Nordeste, por meio de atividades que incorporam modernas tecnologias de produção. Dessa maneira, os fornecedores de insumos, os armazenadores e a indústria de processamento aglomeram-se ao redor dessas zonas de produção com vistas à minimização dos custos logísticos, principalmente em relação aos custos com transporte.

Nas últimas duas décadas a agricultura passou a figurar entre os setores econômicos mais estratégicos para a consolidação do programa de estabilização econômica. Considerando alguns aspectos do agronegócio, como a elevada participação no Produto Interno Bruto (PIB) em torno de 22% (CEPEA, 2012), a importância na pauta de exportações em mais de 41% (BRASIL, 2013), e a contribuição para o controle da inflação, evidencia-se a importância da agricultura brasileira para impulsionar o desempenho da economia.

A produção de milho no Brasil, juntamente com a de soja, contribui aproximadamente com 86% da produção de grãos no país. De acordo com dados da CONAB (2010), o milho tem sua produção voltada para o abastecimento interno, sendo utilizado em torno de 77% para fabricação de rações, 10,4% para consumo industrial, e apenas em torno 2% para consumo humano. Ademais, recentemente, as exportações desse cereal vêm sendo realizadas em quantidades expressivas e contribuindo para maior sustentação dos preços internos do milho. Atualmente, o Brasil está em terceiro lugar no ranking mundial de produção de milho, ficando apenas atrás de Estados Unidos e China (USDA, 2014).

Segundo Duarte *et al.* (2011), a importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, a qual está inserida desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Sendo como principal utilização a composição para criação de aves e suínos. Além disso, o milho está incorporado na cadeia de bioetanol, sendo a matéria-prima principal, no caso dos Estados Unidos (diferentemente do Brasil que utiliza como matéria-prima principal a cana-de-açúcar), e ainda compõe parte da alimentação humana de famílias de baixa renda.

Em uma visão mundial, os principais mercados consumidores estão localizados fora da América Latina, e as principais regiões produtoras no Brasil nem sempre estão próximas aos portos exportadores, percorrendo longas distâncias para chegar ao seu destino. Dessa forma, os custos com

transportes e armazenagem são os principais fatores que limitam o potencial competitivo do milho brasileiro.

O transporte de cargas é o principal componente dos sistemas logísticos das empresas. Pelo menos três indicadores financeiros podem medir sua importância: custo, faturamento e lucro. Em geral, o transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento, e em alguns casos, mais que o dobro do lucro (WANKE e FLEURY, 2006).

Segundo Caixeta-Filho (2001), em média a carga agrícola chega a percorrer distâncias superior à 1.600 km, e considerando o total de cargas movimentadas pelas ferrovias, a distância média percorrida chega a ser inferior a 500 km. Esse fato pode ocorrer em consequência de alguns fatores como falta de infraestrutura logística, problemas com armazenagem, custo relativamente baixo das terras, distância cada vez maior entre polos produtores e consumidores.

Para Wanke e Fleury (2006), o sistema de transportes brasileiro encontra-se numa encruzilhada. Ou seja, de um lado está um forte movimento de modernização nas empresas, o que demandam serviços logísticos cada vez mais eficientes, confiáveis e sofisticados, a fim de manterem-se competitivas num mundo que se globalizou, e onde a logística é, cada vez mais, determinante para o sucesso empresarial. De outro, está um conjunto de problemas estruturais, que distorcem a matriz de transporte brasileira e contribuem para o comprometimento, além da qualidade dos serviços e da saúde financeira dos operadores, mas principalmente do desenvolvimento econômico e social do país.

De acordo com Oliveira (2011), a questão do escoamento da produção agrícola nacional, é fator fundamental e impacta o agronegócio em sua base, podendo assim modificar a comercialização, a formação de preços e a própria competitividade do setor. Desse modo, a infraestrutura logística deve proporcionar capacidade de eficiência em operações como transporte e armazenamento da produção.

Apesar do avanço das tecnologias para promover o aumento da produção e da produtividade do milho, os custos com transporte e armazenagem ainda apresentam-se como principais fatores que limitam o potencial competitivo deste produto. Dessa forma, a questão que se coloca é se a redução nos custos logísticos poderá refletir em ganhos de competitividade para a cadeia produtiva do milho, e ainda, de que maneira essa redução poderá ser realizada.

Outro ponto diz respeito à espacialização da produção, a produção de milho é muito mais pulverizada pelo território nacional que a produção de soja, o que dificulta muito o estabelecimento de rota (OLIVEIRA, 2011).

Dessa forma, a expansão das áreas agrícolas, que impulsionou a formação de um novo arranjo espacial dos setores produtivos, não foi acompanhada pela expansão do setor de transportes. Deste modo, o aproveitamento do potencial da produção de grãos depende do estabelecimento de um sistema viário eficiente. Para tanto, se faz necessária a viabilização e a integração dos corredores de transporte intermodais (rodovia, ferrovia, hidrovia) para aumentar a competitividade dos produtos, unindo as áreas de produção, centros consumidores e o mercado internacional (LÍCIO, 1995).

No caso brasileiro, o sistema rodoviário ainda é o principal modal utilizado para o transporte de cargas agrícolas; em muitos casos, é a única alternativa para movimentação desse tipo de produto, devido à escassez de hidrovias e ferrovias que liguem grandes distâncias e, ao mesmo tempo, situem-se perto dos polos produtores. O sistema rodoviário brasileiro há muito tempo sofre com a carência de investimentos públicos. Além disso, as empresas de transporte de cargas perderam sua margem de lucro principalmente devido aos produtos de baixa especificidade, o que acarretou deterioramento dos equipamentos e manutenção precária. Apesar deste cenário, vale salientar que esse modal é o único que permite o transporte “ponto-a-ponto”, e por isso a estrutura física destes deve ser a melhor possível (CAIXETA-FILHO e GAMEIRO, 2001).

No modal ferroviário, o uso de vagões inadequados, a pequena oferta de material rodante e a baixa qualidade do existente podem ser consideradas as principais deficiências na infraestrutura. Já para o modal hidroviário, o problema reside na baixa capacidade de intermodalidade e comboio, além de oferecer pouca atratividade de investimentos devido às barreiras ambientais (OLIVEIRA, 2014).

O transporte hidroviário apresenta vantagens quando comparados aos outros sistemas, principalmente devido ao baixo valor de seu frete. Porém, essa modalidade deve estar conjugada com outras para que os pontos de origem e destino possam ser atendidos. Dessa maneira, as alternativas intermodais devem ser consideradas, apresentando-se como uma maneira mais real de tratar os problemas de transporte de produtos agrícolas (OLIVEIRA e CAIXETA-FILHO, 1997).

O Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) foi criado para promover a retomada do planejamento e execução de grandes obras de infraestrutura, tanto no âmbito social e urbano quanto logístico e energético do país. No quesito logístico, o PAC tem por objetivo ampliar a rede logística nacional, interligando os modais¹ ferroviário, rodoviário, hidroviário, e dutoviário, para possibilitar uma matriz de transporte de cargas mais rápida e segura no país.

¹ Modal hidroviário é um tipo de transporte aquaviário realizado em vias aquáticas, o mesmo pode ser feito através de rios (hidroviário/fluvial), lagos (lacustre) e/ou por oceanos abertos (marítimo). Modal dutoviário – realizado através de dutos, ou seja, tubulações desenvolvidas e construídas para transportar produtos a granel a longas distâncias. Exemplos de gás, óleo e combustível (Brasil-Ministério dos Transportes, 2015)

Este trabalho partirá da hipótese de que a redução nos custos com transportes é capaz de promover o aumento da competitividade do milho no cenário internacional e tal feita será possível através da prática da intermodalidade nos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário.

Para justificar o estudo, por meio da análise do impacto dos custos logísticos para a competitividade busca-se entender o quão relevante é este item (o custo) para a cadeia do milho, e através deste estudo propor medidas estratégicas que possibilitem o aumento da competitividade deste cereal.

Dessa maneira, a proposta é otimizar a distribuição logística do milho brasileiro aplicando-se um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. A maior parte dos custos com a *commodity* é obtida pelos custos de transporte, portanto, analisar o sistema de transporte desse cereal dentro da cadeia de suprimentos é um fator importante.

O objetivo geral avaliar a distribuição logística do milho e identificar os entraves para o ganho da competitividade frente ao mercado mundial. Quanto aos objetivos específicos, são explorados dados e informações de importância para caracterizar oferta e demanda do produto em questão; identificar a porcentagem que é destinada ao consumo animal; caracterizar o sistema logístico em que o milho está inserido, identificando os modais utilizados e rotas praticadas para o escoamento.

O Capítulo 2, apresenta o panorama da cadeia do milho brasileiro, identificando aspectos da demanda e da oferta, tanto interna quanto externa. O Capítulo 3, apresenta a importância da logística agroindustrial, caracterizando os modais, eficiência e custos com transporte, e também identificando os fluxos logísticos do cereal. O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos. E por fim, o Capítulo 6, irá apresentar as considerações finais.

2. PANORAMA DA CADEIA DO MILHO

Rico cereal, o milho foi alimentação básica de várias civilizações importantes ao longo dos séculos e suas atividades diárias eram ligadas ao seu cultivo. O milho se expandiu para outras partes do mundo com a descoberta da América e com as grandes navegações (STALLER; TYKOT; BENZ, 2006).

Atualmente o milho é cultivado e consumido em todos os continentes e em termos de volume de produção perde apenas para o trigo e o arroz. No Brasil, o consumo humano cresceu, porém ainda é inferior comparado a países como México e demais regiões do Caribe. Após o desenvolvimento de espécies híbridas, a produtividade e a qualidade do milho aumentaram (PAES, 2006).

De acordo com Staller *et al.* (2006), com relação aos componentes básicos e nutricionais, destacam-se:

- Endosperma - corresponde à maior parte do grão de milho e é composto basicamente de amido (quase 80%), além de outros 7% de glúten que envolve os grânulos de amido e de pequena porcentagem de gordura e demais componentes.
- Película – parte que recobre o grão. Devidamente processada, ela é empregada como ingrediente em rações animais.
- Água – corresponde a aproximadamente 16% do grão de milho. Também utilizada no processo inicial de maceração. O liquor resultante da maceração é rico em vitaminas, especialmente do complexo B. É normalmente usado em rações, além de ser aplicado na fabricação de antibióticos.
- Germe – parte vegetativa do grão e fonte de óleo do milho. Componente importante para alimentos, produtos farmacêuticos e aplicações industriais. As frações remanescentes do germe são processadas e podem ser utilizadas como ingredientes em rações animais.

Além do aspecto nutricional do milho, destaca-se a versatilidade de seu uso. No Brasil, a maior parte da produção é utilizada para alimentação animal. Para o consumo humano, esse cereal pode ser utilizado *in natura* ou como componente para a fabricação de diversos produtos, desde pães até cerveja. Além disso, o milho não possui apenas aplicações alimentícias, os usos de seus derivados estendem-se às indústrias químicas, farmacêuticas, têxtil, de papéis, dentre outras (PAES, 2006).

Para Staller *et al.* (2006), a qualidade física e química dos grãos é determinada pelo seu destino ou uso final. Atualmente, existem no mercado milhos com alto teor de óleo (6 a 7,5%) e alto teor de proteína (>12%), destinados à alimentação animal; alto teor de amilose (milho *waxy*), com propriedades importantes para a indústria alimentícia e de papel; alto teor de amilopectina (milho ceroso), para a indústria alimentícia e também de produção de adesivos; alto teor de ácido graxo oléico, para a produção de margarinas e também óleos de fritura especiais; alto teor de aminoácidos (lisina e triptofano), com melhor qualidade protéica; milhos com amido de fácil extração, destinados à indústria de produção de etanol. Destaca-se também, a exemplo do que ocorre nos Estados Unidos, a utilização do milho é destinada à produção de etanol.

2.1.Aspectos da Oferta

De acordo com os dados da *United States Department of Agriculture* (USDA) de 2014, os três maiores produtores mundiais em 2013/14 continuaram sendo os Estados Unidos com 353,7 mil toneladas, seguido pela China com 218,5 mil toneladas e Brasil com 79,3 mil toneladas (Tabela 1). Na safra de 2012/2013, o Brasil teve um aumento de 10% em sua produção comparado à safra de 2011/2012, fato devido a uma forte seca que atingiu os Estados Unidos em 2012, o que acarretou queda na produção americana de milho e aumentou a produção de outros países, como China e Argentina.

A previsão para a safra brasileira do cereal de 2014/2015 será de 75 mil toneladas. Se compararmos com a última safra 2013/2014, sofrerá uma queda de 5,4%. Porém comparado à safra de 2011/2012, terá um aumento de 2,7%, o que é positivo se for descartado o fenômeno da seca que atingiu os Estados Unidos em 2012 e gerou consequências nas safras seguintes.

Tabela 1. Produção mundial de milho, países selecionados, safras 2011/12-2014/15 (mil toneladas)

Países	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15*
Estados Unidos	313.949	273.832	353.715	367.680
China	192.780	205.614	218.490	217.000
Brasil	73.000	81.500	79.300	75.000
União Europeia	68.118	58.866	64.190	71.016
Ucrânia	22.838	20.922	30.900	25.000
Argentina	21.000	27.000	25.000	23.000
México	18.726	21.591	22.400	22.500
Índia	21.760	22.260	24.190	21.000
Outros	157.147	157.021	170.381	168.496
Total	889.318	868.606	988.566	990.692

*Previsão de Outubro/2014.

Fonte: USDA (2014).

Em relação à produção do milho no Brasil, esse é cultivado em praticamente todo o território brasileiro, sendo que 90% do volume produzido concentraram-se nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Porém, as participações dessas regiões em áreas plantadas e produções se alteraram ao longo dos anos, com a região Centro-Oeste aumentando a sua participação em detrimento das regiões Sul e Sudeste.

A Tabela 2 explora os principais estados brasileiros produtores, os quais são: Paraná (23,3%); Mato Grosso (22%) e Minas Gerais (10,7%). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), nos estados de Minas Gerais e Paraná, a produção de milho é impulsionada pela avicultura e suinocultura, enquanto que no Mato Grosso a indústria de carnes é o principal estímulo à produção de milho. Em São Paulo, apesar do crescimento da produção de carne de frango, a cultura do milho perdeu força nos últimos anos, em função da baixa escala de produção do milho e também em decorrência do avanço de outras atividades agropecuárias que tem apresentado maior rentabilidade, ou que ainda possuem importância mais significativa para a economia, como a cana-de-açúcar e a laranja.

Tabela 2. Produção brasileira de milho, safra 2012/13 e 2013/14(mil toneladas).

Região/UF	Area (em mil ha)		Produtividade (em kg/ha)		Produção (em mil t)	
Centro-Oeste	6.172,9	6.050,9	5.725	8.688	35.340,2	34.417,7
MT	3.424,7	3.423,4	5.809	5.808	19.893,0	19.883,8
MS	1.509,0	1.487,0	5.183	515	7.820,7	7.669,8
GO	1.185,8	1.092,1	6.009	5.870	7.125,7	6.410,5
DF	53,4	48,4	9.379	9.372	500,8	453,6
Sul	4.569,3	4.325,1	5.774	5.710	56.619,3	24.698,4
PR	3.047,3	2.839,2	5.790	5.674	17.642,4	16.110,6
SC	489,0	471,9	6.870	6.870	33.593,4	3.242,0
RS	1.033,0	1.014,0	5.210	5.272	5.383,5	5.345,8
Sudeste	2.214,6	2.135,2	5.747	5.610	12.727,6	11.978,9
MG	1.268,6	1.219,2	5.874	5.922	7.452,2	7.220,2
SP	916,0	887,3	5.678	5.283	5.200,7	4.687,2
ES	24,1	23,3	2.547	2.259	61,4	59,3
RJ	5,9	5,4	2.250	2.259	13,3	12,2
Nordeste	2.336,5	2.479,7	2.089	2.546	4.881,8	6.312,8
BA	628,4	721,7	3.022	3.155	1.899,3	2.277,0
MA	517,7	529,2	2.572	2.559	1.331,4	1.354,4
PI	379,8	416,2	1.429	2.836	542,8	1.185,9
Outros	810,6	812,6			1.108,3	1.495,5
Norte	528,3	507,4	3.166	3.074	1.672,3	1.559,8
RO	166,2	150,5	3.018	2.406	501,6	467,2
TO	95,2	90,0	4.704	3.785	447,8	423,4
Outros	266,9	266,9			722,9	669,2
Norte/Nordeste	2.684,8	2.987,1	2.288	2.636	6.554,1	7.872,6
Centro-Sul	12.957,1	12.511,2	5.746	5.683	74.453,1	71.095
Total	15.641,9	15.498,3	5.120	5.095	81.007,2	78.967,6

Fonte: CONAB (2014).

Quando se trata de exportação mundial, o Brasil está em segundo lugar de acordo com os dados da USDA, ficando apenas atrás dos Estados Unidos, e seguido pela Rússia, Índia e Paraguai. Os Estados Unidos e o Brasil juntos, exportaram cerca de 56,4% do milho consumido mundialmente na safra de 2013/14. (Tabela 3).

Já no contexto nacional, os principais estados exportadores são Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, São Paulo e Santa Catarina, onde juntos totalizam em torno de 98% da produção de milho exportada. O Estado do Mato Grosso representou em torno de 59% do milho exportado em 2013. O Estado do Paraná em torno de 14 %, seguido de Mato Grosso do Sul com 11,68%. Os três estados representaram um montante de 85% da exportação de milho em 2013. (Tabela 4). Com exceção do Estado do Paraná, os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul estão a quilômetros de distâncias dos portos exportadores, aumentando ainda mais a dificuldade de escoamento da produção.

Tabela 3. Exportação mundial de milho, países selecionados, safras 2011/12-2014/15 (mil toneladas)

Países	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15*
Estados Unidos	38.389	18.262	50.500	44.500
Brasil	12.674	26.044	22.041	22.500
Rússia	2.027	1.917	4.100	300
Índia	4.674	4.768	3.900	300
Paraguai	2.188	2.858	2.300	1.900
Outros	82.160	67.926	96.225	88.640
Total	103.723	100.513	128.566	116.040

*Previsão de Outubro/2014.

Fonte: USDA (2014).

Tabela 4. Exportação brasileira de milho, estados selecionados, 2011-2013. (mil toneladas)

Estados	2011	2012	2013
Mato Grosso	6.085,61	9.097,18	15.669,52
Paraná	1.531,85	4.221,68	3.841,92
Goiás	978,93	3.128,13	3.110,47
Mato Grosso do Sul	488,74	1.589,28	1.851,01
Rio Grande do Sul	113,90	88,41	805,02
São Paulo	16,00	600,48	589,75
Santa Catarina	3,00	182,18	243,31
Outros	268,88	894,60	513,89
Total	9.486,91	19.801,94	26.624,89

Fonte: MDIC. (2014).

Os principais destinos de exportação do milho brasileiro em 2013 foram: Japão com 14,05%; seguido de Coréia do Sul com 13,10%; Taiwan com 8,46% e Irã com 8,15% das exportações desse cereal, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (MDIC). Esses quatro países não são os maiores importadores mundiais, porém possuem grande importância para a economia brasileira, já que adquirem juntos em torno de 43% da produção do milho brasileiro exportado. Atualmente o Japão colabora com 901,0 milhões de dólares das exportações (Tabela 5).

Tabela 5. Exportação brasileira de milho por país de destino, 2011-2013. (mil toneladas)

Países	2011	2012	2013
Japão	734,50	3.049,38	3.737,26
Coréia do Sul	131,02	2.581,26	3.484,88
China (Taiwan)	1.174,40	1.937,99	2.250,72
Irã	1.905,67	2.966,92	2.168,57
Egito	446,84	1.846,38	1.592,99
Estados Unidos	2,53	729,39	1.039,16
Outros	5.091,95	6.690,62	12.351,31
Total	9.486,91	19.801,94	26.624,89

Fonte: MDIC. (2014).

Ainda sobre exportações, os três maiores portos utilizados em 2013 para exportação do milho foram o Porto de Santos, localizado no Estado de São Paulo, o qual exportou em torno de 44,7% da produção destinada ao mercado internacional; seguido pelo Porto de Paranaguá, localizado no Estado do Paraná, com aproximadamente 17,3% das exportações e o Porto de São Francisco do Sul, localizado em Santa Catarina, com cerca de 13%. Juntos totalizam em torno de 75% da produção de milho exportada (Tabela 6).

Tabela 6. Exportação brasileira de milho, por porto de destino, 2011-2013. (mil toneladas)

Porto de Destinos	2011	2012	2013
Santos - SP	4.823,53	9.162,11	11.910,02
Paranaguá - PR	2.531,77	4.801,60	4.616,49
São Francisco do Sul - SC	432,86	2.415,35	3.489,39
Vitória - ES	768,90	1.872,31	2.858,11
Porto de Rio Grande - RS	112,87	73,06	999,44
Santarém - PA	212,99	380,73	1.256,79
Santos - SP	4.823,53	9.162,11	11.910,02
Outros	604,00	1.096,78	1.494,66
Total	9.486,91	19.801,94	26.624,89

Fonte: MDIC (2014).

2.2.Aspectos da Demanda

As principais utilizações do milho no mundo são as atividades de criação de aves e suínos. Existem previsões de que a demanda mundial de carnes continue crescendo e estimativas apontam um consumo superior a 110 milhões de toneladas de carne suína e quase 70 milhões de toneladas de carne de frango até o ano de 2015. O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (DUARTE, 2011).

A alimentação humana, mesmo não obtendo uma grande participação no uso de milho em grãos, com os derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda. Em algumas situações, o milho compõe grande parte diária de alimentação, como por exemplo: no Nordeste do Brasil, o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semiárido; outro

exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária. (ABMILHO, 2012)

No cenário mundial, os maiores consumidores de milho na safra 2013/14 foram os Estados Unidos com 296,5 mil toneladas, a China com 212 mil toneladas e o Brasil com 55 mil toneladas. Esses três países, juntos, consumiram aproximadamente 57% da produção mundial do cereal (Tabela 7).

Vale destacar a importância da utilização do milho para a produção de bioetanol, a qual em certos países, exemplo dos EUA, que utilizam este grão para tal função. Como consequência o consumo interno deste cereal pode aumentar e reduzir as quantidades disponíveis para exportação no país, que é responsável por mais de 50% da quantidade comercializada internacionalmente.

Tabela 7. Consumo mundial de milho, países selecionados, safras 2011/12-2014/15 (mil toneladas)

Países	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15*
Estados Unidos	279.074	263.613	296.560	301.131
China	188.000	200.000	212.000	220.000
Brasil	50.500	52.500	55.000	56.500
União Europeia	69.500	69.500	76.000	75.500
México	29.000	27.000	31.500	32.750
Índia	17.200	17.500	19.500	19.600
Japão	14.900	14.500	15.500	15.700
Egito	11.700	11.700	12.700	12.800
Canadá	11.636	11.605	11.800	12.000
Outros	492.380	460.917	517.748	525.837
Total	884.816	865.222	951.748	970.687

*Previsão de Outubro/2014.

Fonte: USDA (2014).

No contexto de milho destinado à alimentação animal, o Estado de Santa Catarina é o principal produtor de carne Suína, e em 2013 a produção atingiu 770,5 mil toneladas, responsável por 24,7% da produção brasileira de suínos no mesmo ano, seguido pelo Rio Grande do Sul com 677,6 mil toneladas e Paraná com 606,4 mil toneladas (Tabela 8).

Em termos de produção de aves, o destaque ficou com o Estado do Paraná com 3.379,7 mil toneladas, representando 27,33% da produção total brasileira, seguido por Santa Catarina (2.111,3 mil

toneladas) e Rio Grande do Sul (1.911,9 mil toneladas), também em 2013. A produção de aves em 2013 obteve um crescimento de em torno de 7,2% comparada ao ano de 2012. (Tabela 9).

Tabela 8. Produção brasileira de carne suína, estados selecionados, 2011-2013 (mil toneladas)

Estados	2011	2012	2013
Santa Catarina	921,8	785,5	770,5
Rio Grande do Sul	698,3	672,6	677,6
Paraná	629,6	623,8	606,4
Minas Gerais	390,4	390,0	408,1
Mato Grosso	202,4	195,1	175,3
Goiás	233,6	182,9	169,2
São Paulo	140,1	140,8	140,4
Mato Grosso do Sul	94,3	99,9	107,4
Outros	59,2	59,2	62,0
Brasil	3.369,6	3.149,7	3.117,1

Fonte: IBGE (2014).

Tabela 9. Produção brasileira de carne de aves 2011-2013 (mil toneladas).

Estados	2011	2012	2013
Paraná	2.869,0	3.033,3	3.379,7
Santa Catarina	2.240,0	2.148,7	2.111,3
Rio Grande do Sul	1.459,1	1.441,3	1.911,9
São Paulo	1.724,1	1.558,1	1.413,5
Minas Gerais	775,5	814,7	887,6
Goiás	680,5	710,9	754,8
Mato Grosso	494,9	596,9	595,2
Mato Grosso do Sul	346,2	363,0	373,6
Outros	832,4	868,0	939,1
Brasil	11.421,7	11.535,0	12.366,7

Fonte: Sidra - IBGE. (2014).

3. A IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA AGROINDUSTRIAL

Segundo Morabito *et al.* (2010), a principal função da atividade de transporte na logística é agregar valor de lugar ao produto, dado que os produtos nem sempre são consumidos no mesmo local que são produzidos. Sendo que o sistema de transporte pode produzir grande impacto nos custos logísticos além de impactar com outras atividades logísticas. Estima-se que os custos com transportes podem representar até dois terços dos custos logísticos

Morabito *et al.* (2010) cita também, que uma das maneiras de contrastar a economia dos países desenvolvidos e dos em desenvolvimento é comparar sua matriz de transporte e o papel que essa desempenha na atividade, ou seja, raramente se encontrará um país desenvolvido com um sistema de transporte ineficiente, e/ou um país em desenvolvimento com um sistema de transporte eficiente. Um sistema de transporte eficiente contribui para gerar maior competitividade, economia de escala e redução de preços.

A atividade de transporte, a que pode ser considerada a mais importante entre os diversos componentes logísticos, vem aumentando sua participação no Produto Interno Bruto (PIB), crescendo de 3,7% para 4,3% entre 1985 e 1999. Em 30 anos, ou seja, entre a década de 70 e o ano 2000, o setor de transportes cresceu cerca de 400%, enquanto o crescimento do PIB foi de 250%. Esse crescimento foi fortemente influenciado pela desconcentração geográfica da economia brasileira nas últimas décadas, avançando para as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (FLEURY, 2003).

Segundo Caixeta-Filho e Gameiro (2001), o que se observa na economia agrícola brasileira nas últimas décadas é a verdadeira revolução em seu arranjo espacial, onde o agronegócio ocupou fronteiras como Norte e Centro-Oeste, e avançando para o Nordeste, mais especificadamente na região chamada de MATOPIBA, termo o qual foi criado através das iniciais dos estados envolvidos: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, região essa que nas últimas safras apresentou certa relevância em sua produção. Em geral por meio de atividades que incorporam modernas tecnologias de produção. Dessa maneira, introduzindo toda uma cadeia de apoio para o negócio principal, ou seja, fornecedores de insumos, armazenadores e indústrias de processamento se aglomeram ao redor das zonas de produção, com o objetivo de minimizar custos de transporte, e atendendo os princípios de racionalidade econômica.

Ainda segundo Caixeta-Filho e Gameiro (2001), a distância média percorrida da carga agrícola brasileira chega a ser superior a 1.600 km, por outro lado, considerando o total de cargas movimentadas

pelas ferrovias, a distância média percorrida chega a ser inferior a 500 km. Isso ocorre em consequência de alguns fatores como: a falta de infraestrutura logística, os problemas com armazenagem, o custo relativamente baixo das terras (regiões como Norte e Nordeste, normalmente possuem valor de compra das terras inferior a demais regiões), implicando em distâncias cada vez maiores entre pólos produtores e consumidores.

Para Wanke e Fleury (2006), o transporte de cargas é o principal componente do sistema logístico de uma empresa, e sua importância pode ser medida por pelo menos três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro. Coloca ainda que o transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento, e em alguns casos, mais que o dobro do lucro.

De acordo com Batalha (2010), um sistema de transporte eficiente contribui para gerar maior competitividade, pois produtos distantes passam a ser competitivos num mesmo mercado, aumentam a economia de escala, diminuem perdas e danos e ainda reduzem custos.

“As operações de transporte adicionam valor de lugar aos produtos. Em geral, representa o elemento mais importante do custo logístico, pois só o custo de transporte pode representar até dois terços dos custos logísticos” (BATALHA, 2010).

Nesse contexto, a mudança no sentido do escoamento da produção agrícola decorre de uma redução nos custos de transporte causados pela multimodalidade e a redução da distância até o porto exportador.

Porém, a realidade brasileira não demonstra eficiência no sistema de transporte. Infelizmente a trajetória do rápido crescimento da demanda por das atividades de transporte não foi acompanhada por investimentos e manutenção necessários à infraestrutura brasileira. A partir da Figura 1 (não considerando os modais dutoviário e aéreo), observa-se ineficiência na utilização dos modais de transporte no Brasil, ou seja, diante da grande extensão do território brasileiro, em comparação a outros países de extensão similar que utilizam muito mais a ferrovia e/ou hidrovia. Em 2006, o Brasil apresentava um quadro de 64% de utilização de rodovias, a qual pode ser considerada inadequada para longas distâncias, principalmente em relação à carga agrícola, e que não é muito alterado para dados de atualmente, o que será citado nos próximos itens referente a rodovias.

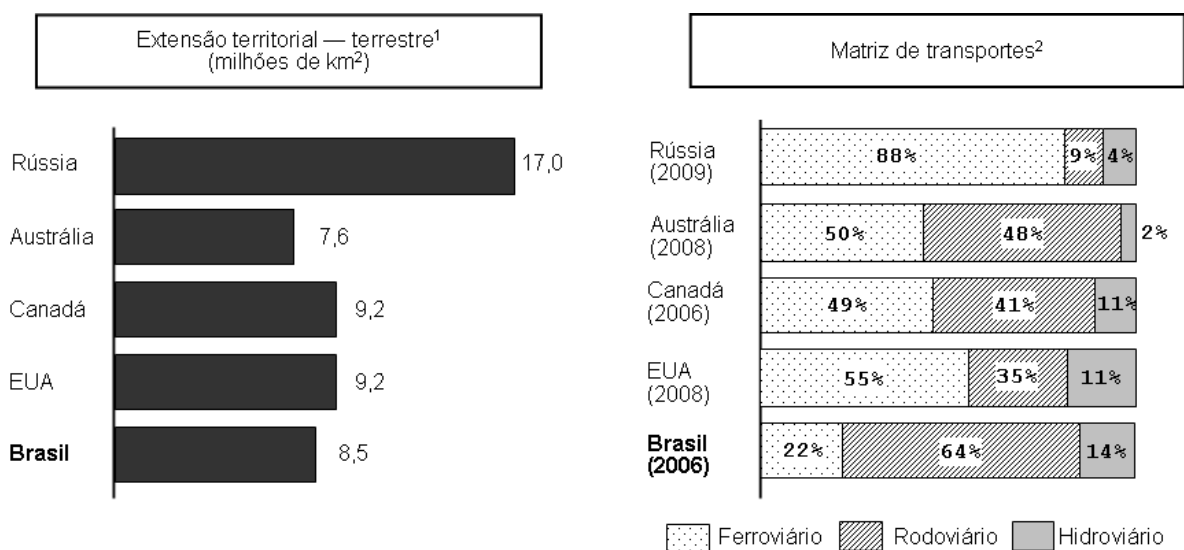


Figura 1: Relação de extensão territorial e transporte de carga.

Fonte: (OLIVEIRA, 2011).

Durante décadas o país privilegiou as rodovias como alternativa de transporte de cargas, estratégia tomada com o objetivo de integrar o território brasileiro e também de industrializar o país com base na formação de polos automobilísticos. Os primeiros investimentos na infraestrutura rodoviária deram-se na década de 1920, no governo de Washington Luís, que enquanto governador de São Paulo projetou e modernizou estradas no interior do estado e em direção ao Porto de Santos. Posteriormente, como presidente, inaugurou as Rodovia Rio-Petrópolis e a Rio-São Paulo, sendo prosseguidos no governo Vargas e Gaspar Dutra. Porém, foi no governo do presidente Juscelino Kubitschek, final da década de 50, que o “rodoviarismo” foi implementado de maneira incisiva. Pode ser analisada de aspectos distintos: com o objetivo de integrar o território nacional, após a transferência da capital para Brasília, a fim de estabelecer relações comerciais e povoar as áreas mais afastadas; e com o caráter político-econômico, a ampliação da malha rodoviária, seria um incentivo para atrair empresas internacionais no ramo automobilístico, tal que empresas automobilísticas atraem toda uma cadeia desse ramo, ou seja, empresas de autopeças, componentes elétricos, etc. (SILVA, 2012).

Para Wanke e Fleury (2006), a principal consequência da distorção da matriz de transportes é o impacto nos preços relativos cobrados por tonelada/quilômetro (t/km) nos diferentes modais. O excesso de oferta de transporte rodoviário, resultante da falta de regulamentação da entrada de novas empresas no setor, cria uma concorrência desleal com os outros modais de transporte, o que inibe o surgimento

da escala necessária para justificar investimentos em modais intensivos em custos fixos, como o ferroviário.

Atualmente, um dos fatores da predominância desse modal é em consequência da grande disponibilidade de rodovias que o Brasil apresenta e também da dificuldade em transportar que os demais modais enfrentam para atender a demanda em áreas mais distantes do país, as quais não são beneficiadas por ferrovias e hidrovias.

Dessa maneira, de acordo com Oliveira (2011), o fator escoamento da produção, impacta na comercialização, formação de preço e também na competitividade do produto.

3.1. Infraestrutura Logística

São cinco modais de transportes básicos existentes. São eles: rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e dutoviário. Cada um possui características e custos operacionais diferenciados, tornando-os mais adequados para determinado produto e operação. Para a escolha adequada do modal a ser utilizado, devem ser levadas em conta as características físicas do produto, do serviço e do custo.

De acordo com Figueiredo *et al.* (2003), para as características do serviço, são cinco as dimensões que podem ser classificadas em:

- Velocidade – *transit time*, ou seja, tempo percorrido entre origem e destino; Em termo de velocidade, o modal aéreo é o mais veloz, seguido pelo rodoviário, ferroviário, aquaviário e dutoviário. Entretanto, se considerarmos o tempo gasto porta-a-porta, a vantagem do modal aéreo só ocorre para médias e grandes distâncias. Assim, quanto maior a distância percorrida, maior a vantagem de transportar pelo modal aéreo. Mas, na prática, os modais ferroviário e rodoviário, o tempo gasto com a viagem, depende fundamentalmente do estado de condições da via ferroviária e rodoviária. No Brasil, pode-se constatar que as infraestruturas rodoviária e ferroviária encontram-se em condições precárias, onde, fora de algumas Regiões como Sul e Sudeste, as vias podem ser consideradas praticamente ineficientes e insatisfatórias, prejudicando assim o desempenho do modal.

- Consistência – capacidade de cumprir os tempos previstos; O dutoviário apresenta melhor consistência, pois não é afetado pelas condições climáticas ou de congestionamento, seguido pelo rodoviário, ferroviário aquaviário e aéreo, esse último apresenta baixo desempenho, pois apresenta grande sensibilidade a questões climáticas, além de elevada preocupação com a segurança, tornando comum atrasos nas partidas e chegadas

- Capacitação – capacidade de um modal operar com diferentes volumes e variedades de produtos. O destaque é para o modal aquaviário, o qual possui um limite muito superior, ou quase não tem limites referentes ao tipo de produto e volume a ser transportado. No contra-ponto está o dutoviário, o qual possui diversas restrições, já que é muito limitado em termos de produtos, trabalhando somente com líquido e gases.

- Disponibilidade – número de localidades onde o modal se encontra presente; Nesse ponto temos o rodoviário com maior destaque, pois as rodovias praticamente não possuem limites aonde podem chegar. Na teoria, o ferroviário está como segundo colocado, porém isso só acontece em países que possuem uma malha ferroviária eficiente e extensa, um pouco diferente no caso do Brasil. Como já citado anteriormente, nossa malha férrea é muito inferior comparada a outros países com as mesmas dimensões territoriais do nosso. O aquaviário, apesar de possuímos grande extensão de costa, e extensos rios navegáveis, apresenta baixa disponibilidade em função da escassez de infraestrutura portuária, de terminais, de sinalização, entre outros.

- Frequência – quantidade de vezes em que o modal pode ser utilizado num determinado período. Por operar 24 horas ininterruptas, sete dias por semana, o dutoviário é a melhor opção no caso de frequência, onde pode ser acionado a qualquer momento, desde que esteja disponível no local. Por outro lado, o aquaviário apresenta baixa frequência, resultante dos grandes volumes envolvidos na operação (a cabotagem no Brasil na direção Sul-Nordeste é de pouco mais de uma partida por semana).



Figura 2: Comparação dos modais de transporte em termos de dimensões de serviços

Fonte: Elaborado a partir de FIGUEIREDO *et al.* (2003).

Ainda segundo Figueiredo *et al.* (2003), a combinação de preço/custo com o desempenho operacional nessas cinco dimensões de serviços resulta na escolha do modal mais adequado para uma dada situação de origem-destino.

Devido a diversos problemas associados ao modal rodoviário, dentre os quais poluição, segurança, falta de regulação, além de ser o segundo menos eficiente (com base na Figura 3), a busca por alternativas, principalmente a utilização de ferrovias e aquavias, é uma principal demanda dos usuários do segmento logístico. Importante mencionar também que uma maior participação do OTM ², é um dos principais assuntos nas pautas dos executivos do setor de logística.

² OTM - Operador de Transporte Multimodal é a pessoa jurídica contratada como principal, e não como agente, para a realização do transporte multimodal de cargas da origem até o destino, por meios próprios ou por intermédio de terceiro, o qual pode ser transportador ou não. A Operação de Transporte Multimodal é aquela que, regida por um único contrato de transporte, utiliza duas ou mais modalidades de transporte, desde a origem até o destino. Tal operação é executada sob a responsabilidade única de um Operador de Transporte Multimodal (OTM). O Transporte Multimodal de Cargas compreende, além do transporte em si, os serviços de coleta, consolidação, movimentação e armazenagem de carga, desconsolidação e entrega, enfim, todas as etapas indispensáveis à completa execução da tarefa (ANTT, 2012).

3.1.1. Sistema Rodoviário

No Brasil, o modal rodoviário foi eleito como prioritário no Plano de Metas, onde beneficiou-se de diversos investimentos destinados à abertura, à recuperação e à pavimentação de rodovias. Sua participação na matriz de transporte era inferior a 50% em 1950, e em 1963 superou a marca de 65%. Nesse período, a extensão das rodovias pavimentadas saltou de 2.372 km para 17.364 km, crescimento de 632%. Na década de 1970, o setor continuou com grandes investimentos liderados pelo governo federal, cuja rede expandiu-se a taxas superiores às redes estaduais. Em termos de projetos, os mais representativos foram a Ponte Rio-Niterói e a Rodovia Transamazônica. No entanto, essa mesma década marca o esgotamento do modelo iniciado na década de 1940, por conta de medidas que reduziram o montante de recursos vinculados destinados ao setor. Em crise, o regime de financiamento setorial sofreu o golpe final com a promulgação da Constituição de 1988, que extinguiu a vinculação de recursos. (AZZONI e FERREIRA, 2011).

Já na década de 1990, foi a marca da queda substantiva dos investimentos no segmento, sendo assim, entre 1990 e 1994, os investimentos médios anuais, em termos reais, equivaleram a 37% dos valores médios do intervalo 1971-1976. Com uma malha pavimentada superior a 153 mil km em 1994, a baixa qualidade era a principal deficiência do segmento no início da década de 1990. A concessão de trechos da malha rodoviária ao setor privado foi a alternativa adotada em face das restrições orçamentárias do setor público. Porém nem todas as rodovias brasileiras foram concedidas. (AZZONI e FERREIRA, 2011).

De acordo com os atributos apresentados no item 3.1, o modal rodoviário se destaca, pois apresenta maior flexibilidade para deslocar produtos, podendo utilizar rotas alternativas e ainda está disponível em grande parte do território brasileiro. Mas também possui aspectos negativos, pois implica altos custos para movimentar produtos a longas distâncias e grandes volumes. Sendo como melhor opção o uso da intermodalidade, assim utilizando as melhores características de cada modal, tornando o rodoviário de grande importância para o setor agrícola.

De acordo com os investimentos recentes feitos pelo Governo Federal, principalmente através do PAC, demonstram que rodovias ainda são principais responsáveis pelo transporte de cargas. Conforme os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT)³ de 2014, a modalidade de transporte rodoviário tem absorvido mais da metade dos transportes de cargas no Brasil. Em 2013, foi

³ Valores considerados para Matriz de transporte de Cargas em geral, incluindo grãos, combustíveis e demais cargas movimentadas. Complementando, o modal dutoviário foi responsável por 4,2% do movimentado e aéreo com 0,4%.

responsável por 61,1% das movimentações, contra 20,7% do transporte ferroviário e 13,6% do transporte hidroviário.

Porém, atualmente, a situação das rodovias brasileiras não é das melhores. De acordo com os dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) de 2012, no caso do Estado de Mato Grosso, maior produtor de grãos, é cortado por 65 mil km de rodovias tanto federais, estaduais e municipais, das quais apenas 10% são pavimentadas.

Dados estatísticos divulgados pela ANTT (2014) indicam que em 2013 o Brasil possuía uma extensão total de rodovias em torno de 1,7 milhões de km, mas apenas 203,6 mil km são pavimentadas (Figura 3). Em termos regionais, a concentração da malha rodoviária total está na Região Sudeste (31%), com destaque para os Estados de Minas Gerais e São Paulo, esse fato pode ser consequência do grande número de rodovias nessa localidade serem administradas por Concessionárias, as quais utilizam de Pedágios, supostamente investidos na melhoria da rodovia.

Em termos de Brasil, de acordo com a divulgação da CNT (2014), mais de 80% das rodovias municipais não são pavimentadas (Figura 4).

Essas diferenças regionais, em função da disponibilidade de malha e extensão dos trechos pavimentados, impactam de modo negativo no transporte interestadual de cargas. Porém, as limitações do sistema rodoviário brasileiro não se resumem apenas à extensão de estradas pavimentadas. Pesquisa realizada pela CNT indica que o estado geral das rodovias do país é deficiente. Quase 60% dos trechos avaliados foram considerados em mau estado, com problemas principalmente na geometria da via e na sinalização, além da má conservação da pavimentação (CNT, 2012), o asfalto é de má qualidade, falhas de construção, falta de conservação e o excesso de peso dos caminhões são alguns dos fatores que afetam as condições das rodovias nacionais.

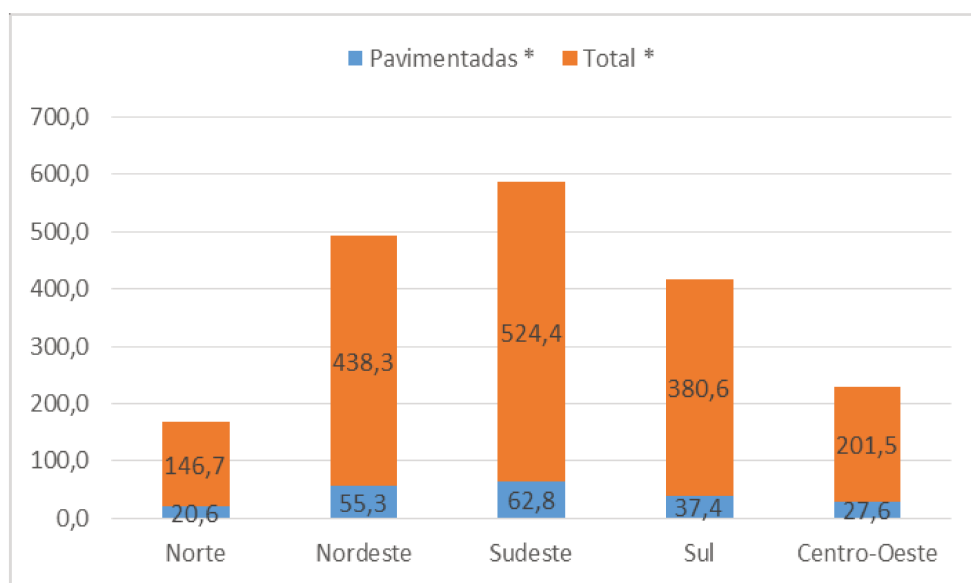


Figura 3: Extensão total e pavimentada das rodovias brasileiras, 2013 (mil km).

*Somatório das Federais, Estaduais e Municipais.

Fonte: CNT (2014)

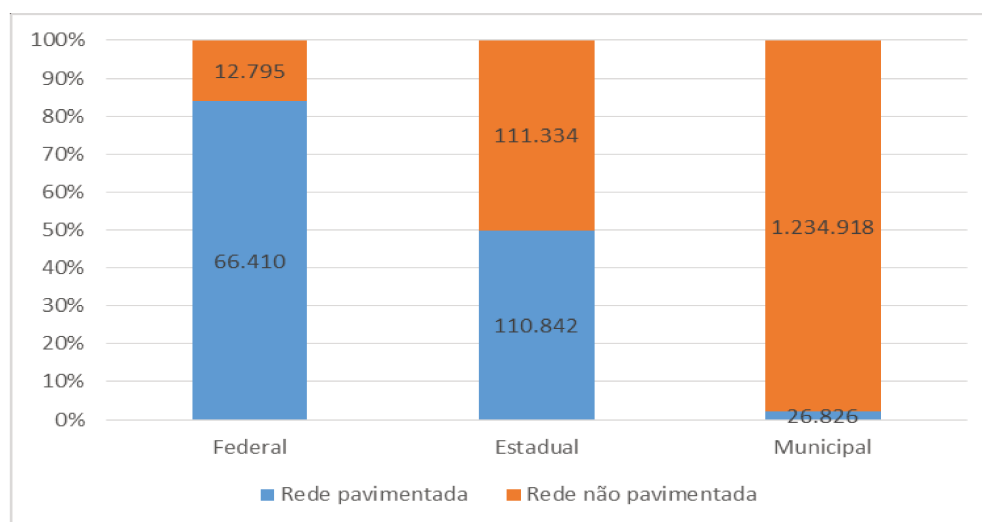


Figura 4: Extensão das rodovias pavimentadas e não pavimentadas, 2014 (km).

Fonte: DNIT (2014)

Além do problema das situações precárias das rodovias, temos ainda a questão da idade média da frota de caminhões comprometendo ainda mais o escoamento da safra agrícola brasileira. Os dados indicam que a média total varia entre 7,9 anos a 15,7 anos, onde a média de 7,9 anos está concentrada

em frota de adquirida por empresa, e 15,7 anos seria a média da frota de autônomos. Isso pode ser fruto de uma facilidade maior que as empresas possuem para renovarem sua frota, diferente dos autônomos, onde nem sempre podem comprovar seus rendimentos para adquirir um novo caminhão através de financiamento.

Tabela 10. Idade Média da Frota de Caminhões, 2012.

Tipo de Veículo	Idade Média dos Veículos (anos)			
	Autônomo	Empresa	Cooperativa	Média Geral
Caminhão Leve (3,5t a 7,99t)	18,9	7,9	11,1	12,7
Caminhão Simples (8t a 29t)	22,5	9,8	16,3	16,2
Caminhão Trator	17	6,9	14,5	12,8
Caminhão Trator Especial	14,6	5,3	13,3	11,1
Caminhonete/Furgão (1,5t a 3,49t)	9,3	5,5	6	6,9
Reboque	18,2	12,3	16,2	15,6
Semi-reboque	13,8	7,7	11,1	10,9
Semi-reboque com 5ª roda /Bitrem	8,2	4,8	2,6	5,2
Semi-reboque especial	13	5,9	18,6	18,4
Outros	24	15,5	18,6	18,4
Média Total	15,7	7,9	11,3	11,6

Fonte: ANTT (2012)

3.1.2. Sistema Ferroviário

As ferrovias no Brasil tiveram forte presença do Estado e maior utilização da mesma em função do seu caráter estratégico; de suas características operacionais e de serviços; da situação de mercado tido como monopólio natural, e ainda, da existência de um mercado cativo. A implantação ferroviária brasileira teve início em meados do século XIX impulsionada pela expansão cafeeira, sobretudo no Estado de São Paulo (OLIVEIRA e SILVEIRA, 2011).

Porém, em decadência desde os anos 1920, o setor ferroviário passou por uma reestruturação que envolveu a criação de empresas para centralizar as operações, buscando conferir maior integração à rede existente. Assim, destacam-se a Rede Ferroviária Federal (RFFSA), de 1957, e a Ferrovia Paulista S.A. (Fepasa), de 1971. Contudo, a clara opção do governo pelo modal rodoviário fez com que poucos

recursos fossem destinados ao segmento, tornando-o altamente dependente das operações para a geração de recursos financeiros necessários à sua expansão. A pequena elevação no investimento na década de 70 estava associada às indústrias de mineração e de siderurgia. A queda nos investimentos a partir da crise iniciada no fim da década de 1970 foi mais acentuada no setor ferroviário do que no rodoviário. No início dos anos 90, o quando era pior que o indicado por uma análise mais superficial dos números. Dessa maneira, os poucos investimentos estiveram associados ao minério, enquanto o restante da rede estava praticamente abandonado. Os pequenos investimentos no setor foram insuficientes para assegurar a manutenção das vias permanentes e do material rodante. (AZZONI E FERREIRA, 2011).

Uma outra consequência preocupante da escassez de investimentos é o estado de conservação das vias, sendo que para as ferrovias, a má conservação das vias reflete-se nas baixas velocidades médias praticadas, reduzindo de forma significativa a produtividade dos ativos ferroviários. (WANKE e FLEURY, 2006).

A partir da década de 1990 o setor passou por grandes mudanças, com um intenso processo de desestatização da malha. A privatização das malhas ferroviárias resgatou a importância do setor na matriz de transportes brasileira. O controle das malhas passou a ser exercido predominantemente pelo capital privado nacional (OLIVEIRA e SILVEIRA, 2011).

Entretanto, o modelo de privatização adotado não deu conta, dentre outros aspectos, do estabelecimento de metas e do acompanhamento do setor, principalmente nos primeiros anos de concessão. Na verdade, ao invés da privatização das ferrovias promover uma transformação estrutural do setor, acabou apenas contribuindo para que o Estado transferisse os gastos destinados a este setor.

O que corrobora ainda mais com esta afirmação é o fato da Agência Nacional de Transportes Terrestre (ANTT), responsável por regular e supervisionar a atividade de prestação de serviço e exploração da infraestrutura de transportes exercida por terceiros, ter sido criada apenas em 2001. Diferentemente do que ocorreu no processo de privatização de outros setores, como energia e telefonia, em que as Agências Reguladoras surgiram ao mesmo tempo em que se dava a desestatização desses serviços públicos. Entretanto, no setor ferroviário este processo se concretizou com cinco anos de atraso (OLIVEIRA, 2011).

Marchetti e Vilar (2006) dividem o desenvolvimento posterior em duas fases: recuperação (1996-1999) e expansão da capacidade (de 2000 até o período atual). Na primeira, os investimentos visavam à recuperação da estrutura existente, bastante obsoleta e degradada, o que pouco mudou,

efetivamente, nos anos subsequentes. Segundo Wanke e Fleury (2006), a reestruturação e os impasses regulatórios explicam esse fenômeno, ou seja, a ANTT só foi criada em 2001 (como já citado), e a elevada participação dos investimentos destinados à infraestrutura, sem correspondente aumento da malha ferroviária, indica que o péssimo estado de conservação das vias representava um entrave às operações ferroviárias.

Ainda segundo Marchetti e Vilar (2006), na segunda etapa, os investimentos envolveram gastos que ampliaram a capacidade, como novos pátios de manobras e construção de ligações com os modais rodoviário e portuário, ou possibilitaram a diversificação das operações em direção ao provimento de serviços logísticos. E também, o aumento das exportações brasileiras gerou pressão de demanda sobre os concessionários e criou condições para a elevação dos investimentos, e foi nessa fase que correu importante movimento de consolidação setorial quando a América Latina Logística (ALL) assumiu as operações da Brasil Ferrovias e da Novoeste.

E por fim, a esperada terceira fase envolveria a expansão e a maior integração da malha existente aos diversos modais de transporte de cargas e passageiros. Nos últimos anos, as principais obras estão sendo realizadas nas ferrovias Transnordestina⁴ e Norte-Sul⁵. Vale destacar, também, a criação da estatal Valec⁶ para gerenciar as inversões do governo federal na expansão da malha. Novo impulso pode advir dos investimentos no segmento portuário, demarcando nova fase no segmento ferroviário, caracterizada pela expansão da rede. (WANKE e FLEURY, 2006).

Ademais, a malha ferroviária brasileira se mantém a mesma nos últimos 10 anos, não ultrapassando os 28 mil quilômetros de extensão. A concentração também se manteve, estando mais presente nas Regiões Sudeste e Sul. A Figura 5, demonstra as ferrovias utilizadas pela logística de transporte nacional e também confirma a concentração da malha nas regiões citadas acima.

⁴ O projeto original da Transnordestina (1985-1989) previa a construção de apenas 3 novos trechos ferroviários: a) de Salgueiro (PE) a Missão Velha, no sul do Ceará; b) de Salgueiro a Petrolina, no rio São Francisco; c) e de Piquet Carneiro (CE) a Crateús, próximo à divisa do Piauí; A Nova Transnordestina foi criada para ligar o Porto de Pecém (CE) ao Porto de Suape (PE), além do cerrado do Piauí, no município de Eliseu Martins, num total de 1.728 km. O projeto pretende elevar a competitividade da produção agrícola e mineral da região com uma logística que une uma ferrovia de alto desempenho e portos de calado profundo que podem receber navios de grande porte. ANTT

⁵ Ferrovia projetada para interligar o Norte e Sul do Brasil. Foi concebida sob o propósito de ampliar e integrar o sistema ferroviário brasileiro. Quando concluída, possuirá a extensão de 4.155 km e cortará os estados de Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Fonte: ANTT

⁶ A VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. é uma empresa pública, sob a forma de sociedade por ações, vinculada ao Ministério dos Transportes, nos termos previstos na Lei nº 11.772, de 17 de setembro de 2008. A função social da VALEC é a construção e exploração de infraestrutura ferroviária. Fonte: www.valec.com.br

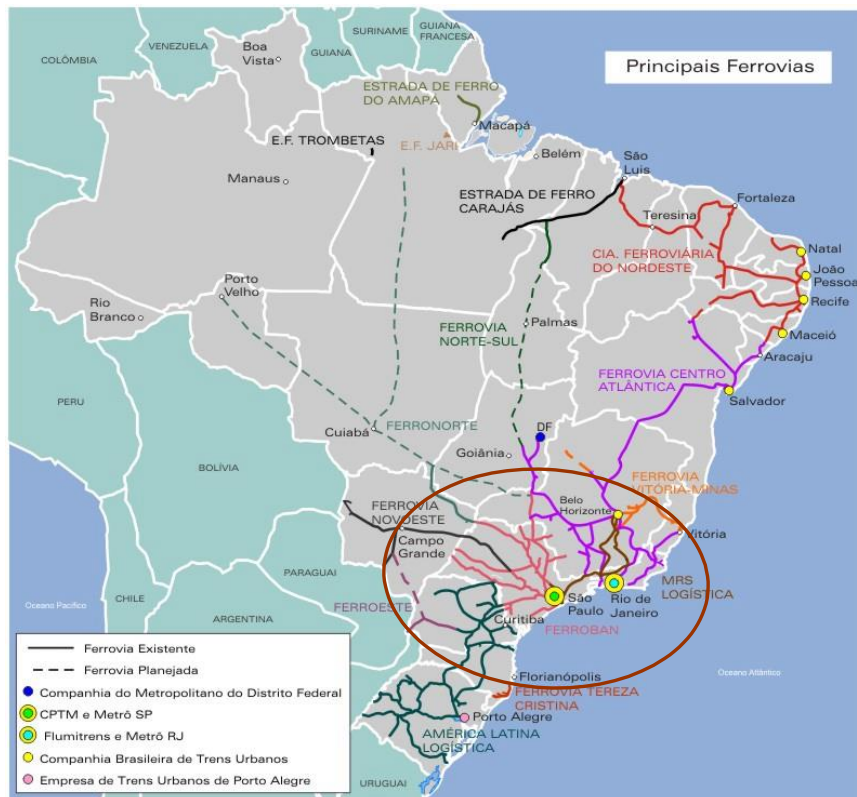


Figura 5. Principais Ferrovias Brasileiras

Fonte: Ministério dos Transportes (2010).

3.1.3. Sistema Hidroviário

No Brasil, a rede fluvial é formada por 42 mil quilômetros de rios navegáveis, entretanto, esse modal ainda não é utilizado em sua total capacidade. Dos 30 mil quilômetros considerados de vias navegáveis naturais, somente 10 mil quilômetros são utilizados em escala comercial. O restante demanda investimentos em infraestrutura, como por exemplo, dragagem, para permitir ou expandir sua navegabilidade. Segundo a ANTAQ (2007), as hidrovias brasileiras movimentam 45 milhões de toneladas de carga/ano, mas se as estivessem plenamente implantadas, estima-se em 160 milhões de toneladas/ano o potencial de carga transportada. (OLIVEIRA e SILVEIRA, 2011).



Figura 6. Principais Hidrovias Brasileiras

Fonte: Ministério dos Transportes (2010).

A grande utilização da hidroviária é para o transporte de *commodities*, como grãos, minérios e insumos (fertilizantes e combustíveis). As hidrovias são consideradas como melhor modal de transporte para grandes volumes e longas distâncias, apresentando a melhor relação custo-benefício. Esse fato facilita a formação de polos de produção localizados às suas margens, desde que atue de forma integrada com os demais modais que venham complementar o transporte fluvial. A Figura 6 ilustra as regiões de concentração dos principais terminais hidroviários utilizados.

3.1.4. Eficiência e custo de transporte

Como já colocado anteriormente, a principal função da atividade de transporte é agregar valor de lugar ao produto. Os sistemas de transportes podem produzir grande impacto nos custos logísticos. É uma das maneiras de contrastar a economia de países desenvolvidos e países em desenvolvimento, é comparar seus sistemas de transporte e o papel que os mesmos desenvolvem na economia. Um sistema de transporte eficiente contribui para gerar maior competitividade, economia de escala e redução de preços. (BATALHA, 2010).

Ainda segundo Batalha (2010), além da função de movimentar produtos, o transporte também possui a função de estoque temporário durante o trânsito. Em alguns casos, quando o estoque físico em uma instalação não está disponível, os veículos de transporte são utilizados para estocar o produto em movimento. Nesse caso, resulta em uma forma mais custosa de estocar, mas podem ser menores em termos da redução das necessidades de estoque e maior segurança para a carga.

São vários os atributos que devem ser considerados no momento de planejar o sistema de transporte. Os principais são: (a) peso e volume; (b) dimensões da unidade da carga; (c) perecibilidade; (d) fragilidade; (e) periculosidade.

O Quadro 1 demonstra a relação entre produtos transportados versus tipo de modal.

Quadro 1: Modais de transporte e os principais produtos transportados.

Modal	Ex. principais produtos transportados
Ferrovário	<i>Commodities</i> agrícolas, matéria-prima de baixo valor agregado, minerais e outros.
Hidroviário	<i>Commodities</i> agrícolas, carros, produtos químicos, e outros.
Rodoviário	Maior parte dos produtos agrícolas no Brasil (grãos, cana-de-açúcar, madeira, etc.), produtos refrigerados e produtos a granel entre outros produtos de fábricas, atacadistas, depósitos para varejistas.
Aeroviário	Produtos de alto valor agregado, produtos perecíveis e produtos urgentes.
Dutoviário	Petróleo, gás natural, combustíveis em geral, água, esgoto, matérias secas pulverizadas a granel, minérios, etc.

Fonte: Batalha (2012)

Alguns autores utilizam uma medida para quantificar o nível de produção de um modal, sendo essa o total de t./km (tonelada por quilometro rodado) realizado, pois o esforço despendido para movimentar a carga deve ser proporcional à distância percorrida e à quantidade transportada.

Para Batalha (2010), o usuário do sistema de transporte deve escolher o modal, ou uma combinação de modais, que forneça o melhor balanço entre custo e a qualidade de serviço. Essa escolha pode ser vista em termos de características que são básicas em todos os modais: (a) custo; (b) tempo médio de entrega e variabilidade; (c) perdas e danos.

Os produtos agrícolas, em geral, necessitam de maior especificidade para seu deslocamento. Fazendo uma breve comparação, os modais mais indicados para o transporte de grãos agrícolas seriam o ferroviário e o hidroviário, por possuírem características importantes para transporte de grandes volumes a longas distâncias, fazendo a utilização do rodoviário apenas para as operações de transbordo e curtas distâncias. Porém, no Brasil o modal rodoviário é o mais utilizado, mesmo não possuindo um custo logístico inferior em relação ao ferroviário e hidroviário.

A intermodalidade é a operação de transporte que utiliza dois ou mais modais. Dessa maneira, a intermodalidade assume o papel de unir as melhores condições de cada modal de transporte para movimentar adequadamente e no menor custo o produto entre origem e destino, o que seria de grande importância para a movimentação de grãos agrícolas.

No contexto de custos, o sistema de transporte pode impactar nos custos logísticos e no desempenho de outras atividades logísticas, os custos com transporte representam até dois terços dos custos logísticos, e corresponde até 4% do PIB nacional.

Assim, o item custo compõe a relação características do produto; serviço e custo para tomada de decisão do modal mais adequado para transportar determinado produto.

Em geral, um serviço de transporte incorre em custos que podem ser divididos em:

- custos variáveis – oscilam de acordo com o tamanho do serviço, ou seja, correspondem aos custos para movimentar a carga, como combustível, mão-de-obra, manutenção de equipamentos, etc.
- custos fixos – esses não variam com a distância ou quantidade de carga transportada, são custos que existem independente de movimentar algo ou não, podem ser considerados custos com aquisição e manutenção de via, terminais e equipamentos de transporte, administração, etc.

Para cada modal, os custos variáveis e fixos são distintos, e a alocação do elemento custo em uma classe ou outra envolve certa arbitrariedade. O Quadro 2 abaixo descreve as características de custos de cada modal de transporte.

Quadro 2. Características dos custos variáveis e fixos dos modais de transporte.

Modal	Custos Fixos	Custos Variáveis
Ferroviário	Altos Custos fixos que incluem: operações nos terminais de carga e descarga, depreciação da ferrovia e instalação do terminal, despesas com administração.	Relativamente baixo: (em geral de 35 a 50% dos custos totais) que incluem: salários, combustível ou energia elétrica, manutenção.
Hidroviário	Altos Custos fixos devido a: investimentos nos equipamentos de transportes (navios), tarifas portuárias e custos de carga e descarga nos terminais.	Baixos custos variáveis devido a operação do equipamento de transporte.
Rodoviário	Baixos custos fixos (15 a 25% dos custos totais), pois as rodovias não pertencem aos transportadores, que incluem: investimento em caminhões (que representa um investimento pequeno comparado ao trem ou navio), operações nos terminais, como carga e descarga, coleta, manuseio e entrega.	Relativamente altos que incluem: combustíveis e outros custos associados à viagem do caminhão, pedágios, taxas do veículo e taxas sobre t-km.
Aeroviário	Altos custos devido a: terminais (aeroportos) e a aerovia (espaço) em geral não pertencem ao transportador (companhia aérea), mas a companhia aérea possui seu próprio equipamento de transporte (aviões) que é depreciado sobre sua vida útil	Altos custos que no curto prazo são influenciados mais pela distância do que pelo volume da carga, devido à ineficiência da aterrissagem e decolagem dos aviões.
Dutoviário	Altos custos fixos devido a: investimento em vias (tubulação), equipamentos (tubos, bombas, tanques), terminais (instalações de bombeamento).	Baixos custos variáveis que incluem: energia para mover o produto (que dependem da vazão e do diâmetro dos tubos), custo associado à operação das estações de bombeamento.

Fonte: Batalha (2012)

Segundo Batalha (2010), o efeito dos altos custos fixos e baixos custos variáveis nos transportes ferroviário e hidroviário podem ser diluídos sobre os volumes maiores ou sobre as longas distâncias, reduzindo o custo por unidade (R\$/t-km), gerando assim a chamada oportunidade de economia de escala. Pode - se dizer que esses modais são os mais indicados para transportar grandes volumes em longas distâncias.

3.2. Caracterização das Rotas Logísticas do Milho Brasileiro

Como já citado anteriormente, a matriz de transporte de cargas no Brasil é altamente concentrada no modal rodoviário, não utilizando em sua total capacidade os demais modais. De acordo com dados da CNT (2014), a modalidade rodoviária absorveu cerca de 61% do que foi movimentado no mesmo ano. Para Caixeta-Filho (1996), essa predominância é explicada pelas dificuldades que outras mobilidades possuem para atender eficientemente aos aumentos de demanda.

A principal vantagem dos Estados Unidos é possuir uma matriz logística equilibrada. Isso porque prioriza o uso dos modais hidroviário e ferroviário para a movimentação de longas distâncias. Já para outros países, como é o caso da Argentina, a principal vantagem logística refere-se às dimensões continentais e a proximidade com os portos.

No caso do Brasil, nas últimas safras foi o terceiro maior exportador mundial de milho, porém a deficiência da estrutura de transporte até os portos tem prejudicado o país na busca de uma presença maior e constante no comércio internacional de milho.

Segundo Oliveira (2011), a movimentação entre os polos produtores agrícolas e os polos consumidores, tanto mercado interno quanto externo, pode ser feita através de diferentes rotas logísticas.

A seguir, são descritas as principais rotas utilizadas pelo escoamento do milho brasileiro e demais grãos, como o caso da soja, divididas por região (OLIVEIRA, 2014):

Sul: a região conta com áreas tradicionais destinadas a produção de grãos, em especial o milho, onde as rodovias existentes interligam diversos polos de produtores às indústrias e aos portos de exportação.

O Estado do Paraná conta com as BR-376 e BR-277, as quais interligam os produtores ao Porto de Paranaguá. A BR-376 é uma rodovia diagonal a qual liga Dourados-MS a Garuva-SC. Já a BR-277 possui início no Porto de Paranaguá e com termino em Foz do Iguaçu, com 730 km.

O Estado do Rio Grande do Sul, conta com as BR-386 e BR-153 para escoar até o Porto Rio Grande. Há também a opção rodo-hidroviária, utilizando-se a hidrovia do Jacuí dos Patos-RS, a qual interliga os centros produtores ao terminal hidroviário de Porto Estrela, o qual segue até Porto de Rio Grande, pela Lagoa dos Patos. A BR-153, a quarta maior rodovia brasileira possuindo em torno de 4.335 km, unindo a cidade de Marabá-PA ao município de Aceguá-RS. A BR-386 interliga a cidade de Canoas-RS a Iraí-SC.

Além disso, essa região conta também com a opção ferroviária, através da ALL malha Sul, a qual pode ser considerada uma das principais rotas de escoamento da região norte do Estado de Paraná com destino ao Porto de Paranaguá. A ALL, além de contribuir para o escoamento dessa região, capta também parte do que é produzido na região Centro-Sul do Brasil, em especial a produção do Mato Grosso do Sul, através do rodoferroviário.

Para melhoramento da Região Sul, estão previstas obras de ampliação dos Portos de Paranaguá e São Francisco do Sul, esse último em Santa Catarina.

Sudeste: região que possui diversos investimentos para melhorias já implantadas. Nessa, o modal rodoviário é o predominante, porém pode também contar com a hidrovia Tietê-Paraná, a qual é utilizada para escoamento da produção do estado de Goiás, com destino ao terminal de Pederneiras-SP, onde segue através da ferrovia ao Porto de Santos, ou pode desembarcar no terminal hidroviário de Panorama-SP, onde segue ao Porto de Santos através da rodovia.

Outras opções para o escoamento são a Ferrovia Centro-Atlântica e a Estrada de Ferro Vitória-Minas Gerais, propriedade da Companhia Vale do Rio Doce, atuando em Minas Gerais, São Paulo e Goiás.

Centro-Oeste: principal região produtora de grãos, sendo principais rodovias de acesso a BR-163 e BR-364. A primeira, que possui 3.467 km de extensão sendo quase 1.000 não asfaltados e tem sua origem e termino em Tenente Portela-RS a Santarém – PA, a qual liga áreas produtoras do Mato Grosso ao Porto de Paranaguá. Já a BR-364, esta que se inicia na cidade de Limeira-SP e possui seu termino no município de Rodrigues Alves-AC, interliga o oeste-matogrossense aos estados do Mato Grosso do Sul e Rondônia, também ao sentido contrário ao Porto de Santos.

A opção intermodal tem-se a rodoferrovia contando com a ALL malha norte e centro-oeste, a qual interliga Mato Grosso do Sul aos Portos de Santos e Paranaguá e a rodo-hidroviária disponível, que conecta a região até o Terminal Hidroviário de Porto Velho-RO, de onde segue pela hidrovia do Madeira. Para a produção da região de Goiás, tem-se a hidrovia Tietê-Paraná, onde escoar a produção até Terminal Hidroviário de Pederneiras, onde segue por ferrovia para o Porto de Santos.

Para novos projetos de melhorias na região, tem-se o prolongamento e o asfaltamento da BR-163, com a extensão da ferrovia entre Alto Araguaia e Rondonópolis e com o potencial terminal privativo hidroviário no distrito do Miritituba, oeste do Pará, para assim movimentar pela hidrovia do Tapajós, com destino ao Porto de Santarém.

Norte: a principal região produtora é o Estado de Rondônia, contando com a BR-364, sua principal rodovia, a qual interliga o estado a Porto-Velho.

A opção intermodal para essa região é a rodo-hidroviária a qual utiliza-se da hidrovia do Madeira, escoando a produção proveniente dessa região, incluindo o norte do Mato Grosso. Nessa opção, o produto chega através de rodovia até o terminal hidroviário de Porto Velho-RO e segue pela hidrovia até o terminal de Santarém-PA.

Como já citado no item acima, a melhoria para o escoamento da região depende da pavimentação da BR-163, do potencial terminal privativo em Miritituba e das melhorias no Porto de Santarém.

Nordeste: o que é produzido no Estado da Bahia pode ser escoado pelas rodovias BR-430 e BR-415, as quais se interligam com rodovias federais até o Porto de Ilhéus, e a rodovia BR-135 até o Porto de Itaqui-MA. Já nos estados do Piauí e Maranhão, utilizam-se BR-230 até o estreito – MA. A opção também seria seguir pela Ferrovia Norte-Sul até o Porto de Itaqui. A Ferrovia Norte-Sul e a Estrada de Ferro Carajás atuam também nos estados do Tocantins, Piauí e Pará.

A região conta com projetos para conclusão da Ferrovia Norte-Sul até estrela d'Oeste-SP, e com as obras portuárias em Itaqui-MA, Pecém-CE e Ilhéus-BA

4. METODOLOGIA

Na teoria econômica, os aspectos relacionados à distribuição e espacialização das atividades produtivas são constantes tópicos de estudos para a área. E em várias abordagens teóricas, o custo com transporte é o fator principal para a decisão da localização para instalação de determinada atividade produtiva, além de também determinar a relação comercial entre atividades e regiões. (OLIVEIRA, 2011).

Inicialmente, os principais modelos que tiveram como foco de estudo a questão da distribuição das atividades produtivas foram os trabalhos desenvolvidos por Von Thünen em 1826, Alfred Weber em 1909, August Lösch em 1940 e Walter Isard em 1956, os quais compõem o corpo teórico da Teoria da Localização. De maneira geral, a destinação das atividades produtivas estava associada aos custos de transportes, e assim forneciam elementos para a compreensão das relações comerciais e alocação das atividades econômicas (AZZONI, 1982).

Para o desenvolvimento do presente estudo e com o objetivo de quantificar os impactos dos custos logísticos na competitividade do milho brasileiro, foi utilizado um modelo de equilíbrio espacial que foi formulado como um Problema de Complementariedade Mista (PCM), baseado nos trabalhos de Samuelson (1952) e Rutherford (1994). O PCM foi proposto por Thore (1992), Rutherford (1995) e Bishop et al (2001) e modelos baseados nesses autores já foram utilizados por Alvim (2003), Alvim e Waquil (2005), Oliveira (2011) e Caetani (2014).

Este capítulo pretende explicar sobre o modelo de equilíbrio geral, sobre o modelo de equilíbrio espacial, logo após descrever a derivação dos modelos de equilíbrio espacial em forma de um problema de complementariedade mista, e por fim aplicá-lo no caso do milho brasileiro.

4.1. Modelo de equilíbrio geral computável

Os modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) podem ser solucionados algebricamente e possuem como objetivo desenvolver uma análise de cunho econômico e político, do mesmo modo que podem ser feitas simulações de cenários futuros. (ALVIM, 2003).

A base dos modelos de EGC são as Matrizes de Contabilidade Social (MCS), as quais registram as receitas e despesas de todos os agentes da economia. Sendo as matrizes construídas a partir de informações contidas nas Matrizes de Insumo-Produto e nas Contas Nacionais ou Regionais.

De acordo com Fochezatto (2002), a partir de uma MCS, a construção de um modelo de EGC consiste em atribuir formas funcionais aos agentes econômicos que representem o seu comportamento no momento que produziram os fluxos de base presentes na MCS. Sendo que os valores expressos nestes fluxos são o resultado de ações comportamentais dos agentes econômicos presentes no modelo. E, devido ao seu caráter multissetorial, eles são mais ricos em detalhes do que os modelos macroeconômicos.

O modelo de equilíbrio geral é usado em estudos que analisam a interação entre regiões e países, buscando analisar as independências entre eles. Estes casos são voltados à análise de questões estratégicas relacionadas à formação de blocos regionais. Dessa maneira, essa aplicação alavancou uma expansão destes modelos de EGC para uma análise multiregional. (FOCHEZATTO, 2002) e (ALVIM, 2003).

É importante salientar que, conforme Alvim (2003), os modelos de EGC não são empregados em estudos restritos a um setor ou produto, mesmo permitindo a análise multiregional e preço-endógena, deve-se considerar a escolha de um método que possibilite a avaliação com maiores detalhes os efeitos da produção, o consumo e fluxos comerciais nos diversos países e regiões do Brasil. Portanto, como este trabalho está restrito ao caso do milho brasileiro, será apresentado o modelo de equilíbrio espacial, o qual poderá contemplar a necessidade do presente estudo.

4.2. Modelo de equilíbrio espacial

Os modelos de equilíbrio espacial⁷, normalmente consideram um setor ou produto a ser analisado e averiguam os efeitos de uma variação (exógena) do preço relativo sobre o equilíbrio do setor, supondo que a alocação no restante da economia permanece inalterada. Assim, o método tem como objetivo solucionar os problemas de comércio entre diferentes regiões, que possuem oferta, demanda e fluxos comerciais distintos separados espacialmente (ALVIM, 2003).

⁷ Também conhecidos como modelo de equilíbrio parcial.

Os modelos de equilíbrio espacial podem ser caracterizados como clássicos para identificação de fluxos inter-regionais de produtos. Podem determinar simultaneamente quantidades compradas e vendidas nas regiões, e respectivos preços, com o uso de funções de oferta e de demanda. Uma das aplicações frequentes do modelo está nos problemas de comercialização do agronegócio. (CRAINIC e LAPORTEG ,1997 apud MARTINS e LEMOS,2006).

Os modelos de equilíbrio espacial, que utilizam ferramentas de programação quadrática, têm sido usados para estudos em economia agrícola para simular o impacto de novas medidas sobre o setor, além das mudanças nas políticas de transportes. (FELLIN, 1993).

No contexto agrícola, para a formulação de modelos nessa area, várias metodologias têm sido utilizadas, entre elas pode-se destacar a utilização dos modelos de equilíbrio espacial, os quais têm origem em Enke (1951) e Samuelson (1952), que demonstraram como este tipo de problema pode ser resolvido através do uso de programação matemática. A partir disso, os modelos e equilíbrio espacial passaram a ser excessivamente utilizados.

Dessa forma, utilizando um modelo de dois mercados espacialmente separados, Samuelson formulou o problema como sendo uma área de maximização sob todas as curvas de excesso de demanda menos a área de todas as curvas de excesso de suprimento, menos o total de custos de transporte. A maximização de todas estas áreas resulta numa solução competitiva de equilíbrio espacial, isto é, baseado nas áreas resultantes da intersecção das curvas destas variáveis. (MARTINS e LEMOS, 2006).

De acordo com Alvim (2003), as formulações de Samuelson consistem em apresentar um modelo de equilíbrio espacial que é representado a partir de um problema de otimização através de uma função objetivo *Net Social Payoff* (NSP), obtida através da soma dos excedentes dos produtores e consumidores, representados pelas integrais correspondentes a cada excedente na equação, menos os custos de transportes. A maximização da função significa que produtores e consumidores atingem o bem-estar no ótimo de Pareto⁸. Assim, considerando uma otimização não condicionada para um produto qualquer, numa determinada região, o conceito de NSP pode ser apresentado como função da quantidade, a qual está demonstrada como:

⁸ Ótimo de Pareto: Situação em que os recursos são alocados de tal maneira que nenhuma reordenação diferente possa melhorar a situação de qualquer pessoa ou agente econômico sem piorar a situação de qualquer outra (SANDRONI, 2008).

$$NSP = \int_0^{q_0} p^d(q) dq - \int_0^{q_0} p^s(q) dq \quad (1)$$

sendo:

p^d – preço do produto pago pelo consumidor

p^s – preço do produto recebido pelo produtor

q – quantidade consumida ou produzida

Onde a primeira integral é interpretada como a soma do total de benefícios dos agentes que consomem um produto. E a segunda integral é interpretada como a soma dos custos de produção para um determinado produto. (ALVIM, 2003).

Takayama e Judge (1971) estenderam a formulação de Samuelson (1952), com o desenvolvimento de um algoritmo para solucionar as condições de equilíbrio espacial envolvendo diversas *commodities* comercializadas entre muitas regiões de oferta e de demanda, e também o nível de preço. Portanto, usaram um preço linear dependente e funções de demanda e oferta estendidas da formulação de Samuelson (1952), para obter dimensões espaciais e intertemporais de preço, produção, fator de uso e consumo determinados através de um quadro de programação quadrática.

Segundo Alvim (2003), os modelos de equilíbrio espacial permitem que o estudo seja analisado em maior detalhamento a formação de preços de um determinado conjunto de produtos ou de um produto. Dessa maneira, podem-se considerar cenários futuros e projetar para cada cenário qual seriam o consumo, a produção e o fluxo de comercialização em função das mudanças dos preços de mercado. Além de medir os ganhos e perdas de cada agente participante em cada região.

O modelo de equilíbrio espacial é uma generalização do modelo de transporte, em consequência de que os resultados obtidos através de um modelo de transporte também poderão ser reproduzidos pelo modelo de equilíbrio espacial.

Caixeta-Filho e Macaulay (1989) ressaltam que o modelo de equilíbrio espacial é uma generalização do modelo de transporte, isto em razão dos resultados obtidos através de um modelo de transporte também poderem ser reproduzidos pelo modelo de equilíbrio espacial. Complementarmente, os modelos de equilíbrio espacial possibilitam a inclusão das elasticidades-preço de oferta e demanda, para efeito de análise de sensibilidade da produção e consumo diante de alterações exógenas.

A estrutura teórica desse modelo pode ser expandida, incluindo regiões multiexportadoras e importadoras, transporte multimodal e *multicommodity*. Podem ser utilizadas para simular o impacto nos mercados ocorrido por meio da aplicação de políticas de comércio, tais como quota, tarifas, entre outras (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Oliveira (2011), os modelos de equilíbrio espacial, apesar de minimizarem a interferência do comportamento de um determinado mercado sobre o resto da economia, exigem uma quantidade de informações sensivelmente menor.

Portanto, de acordo com Alvim (2003), a utilização desse tipo de modelo tem suas vantagens e desvantagens. Em geral, esses modelos empíricos se baseiam na teoria do comércio internacional, onde podem estimar impactos de mudanças na demanda, insumos e nas políticas governamentais. Assim, a escolha do modelo a ser utilizado depende do objetivo e das questões a serem respondidas pelos estudos, e ainda, das informações disponíveis para o desenvolvimento do modelo.

Alguns exemplos da utilização do modelo de equilíbrio espacial para analisar a competição interregional de produtos agrícolas podem ser encontrados em Von Oppen (1976), Waquil e Cox (1995), Lopes e Caixeta-Filho (2000), Omoregie e Thomson (2001), Yang, Hwang e Shoong (2002), Almeida e Haddad (2004).

O presente estudo compreende uma análise do impacto dos custos logísticos no mercado brasileiro de milho, dessa maneira foi adotada a abordagem do equilíbrio espacial, pois a escolha desse método proporciona uma avaliação detalhada dos efeitos dos custos nos fluxos comerciais, e possuem a vantagem de permitir a incorporação de tarifas com mais facilidade, caso seja necessário. Na próxima sessão, será discutido o conceito do Problema de Complementariedade Mista, e posteriormente a aplicação desse no caso do milho brasileiro.

4.3. Problema de Complementariedade Mista (PCM)

O Problema de Complementariedade Mista (PCM) é um modelo de equilíbrio espacial desenvolvido por Rutherford (1995), o qual consiste em um sistema de equações simultâneas, lineares e/ou não lineares, que são descritas como desigualdades, a partir das funções de oferta e demanda do produto considerado. Possui a vantagem de permitir a incorporação de tarifas, quotas-tarifárias e

mudanças do custo de transporte, com maior facilidade (ALVIM, 2003; BISHOP *et al.*, 2001 apud Oliveira, 2011).

Esse modelo é baseado em algoritmos de ponto interior, ou seja, equivalente às condições de Karush-Kuhn-Tucker⁹ (KKT), que são necessárias e suficientes para atingirem o máximo da função *Net Social Payoff* (NSP), que por sua vez, implica conseguir o equilíbrio em todos os mercados e em todas as regiões. (RUTHERFORD, 1995).

A Figura 7 representa as condições de equilíbrio espacial para *commodities* agrícolas nas regiões de exportação e importação levando em conta os custos com transporte, sendo que P corresponde ao preço e Q, à quantidade.

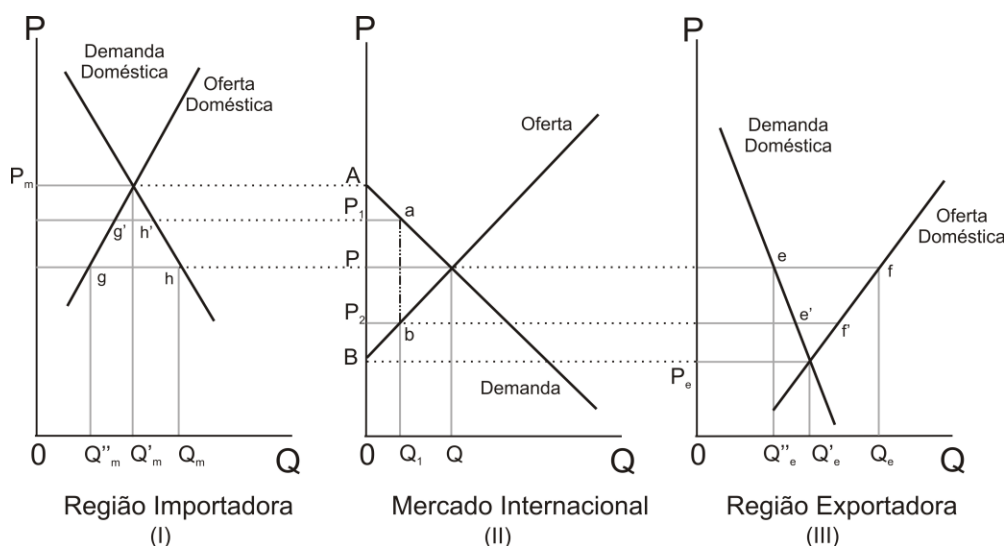


Figura 7. Equilíbrio internacional de comercialização entre duas regiões

Fonte: Oliveira (2011), baseado em Fellin, (1993).

Igualando o custo de transporte a zero, para a comercialização entre as duas regiões, logo tem o fluxo da *commodity* negociada é igual ao excesso de oferta (ef) na região de exportação (III), porém a volume importado é igual ao excesso de demanda (gh) no preço de equilíbrio (I).

Assumindo a existência de tarifas e de custos de transporte entre (a) e (b) no gráfico (II), presume-se que a diferença do preço entre as regiões de importação e exportação é igual às tarifas e

⁹ Condições de Karush-Kuhn-Tucker, também conhecidas por Kuhn-Tucker ou por condições de KKT, são condições necessárias para que uma solução de problemas de programação matemática não-linear seja ótima, satisfazendo determinadas condições de regularidade. De maneira geral, são uma generalização do método dos multiplicadores de Lagrange. (CHIANG, 1982 apud CAETANI, 2014)

custos de transporte e que custos e tarifas são os mesmos adotados pelas regiões de exportação e importação, acompanhando o comportamento das respectivas elasticidades.

Com a adoção de tarifas e custos de transporte (ab), o preço na região importadora de P para P1 aumenta, causando uma redução na quantidade movimentada de Q para Q1 (II). A partir da função das elasticidades preço de oferta e de demanda pode-se calcular a proporção do diferencial pago pelos produtores das regiões exportadoras P2, além do acréscimo de quantidade movimentada para os consumidores na importação P1.

O modelo pode ser expandido incluindo regiões multiexportadoras e importadoras, transporte multimodal e *multicommodity*. De acordo com Fellin (1993), os modelos de equilíbrio espacial são demonstrados matematicamente através da função maximizadora das áreas sob a curva de demanda, subtraindo as áreas sob curva de oferta e menos os custos de transporte .

Tomando como referência Takayama e Judge (1971), pode-se substituir as duas regiões de comércio descritas na Figura 7 como i regiões, fazendo com que as funções de oferta (3) e demanda (2) sejam descritas como:

$$p_i = d_i(y_i) \quad \forall i \quad (2)$$

$$f_i = s_i(z_i) \quad \forall i \quad (3)$$

onde,

p_i – preço de demanda na região i

y_i – quantidade demandada com preço p_i na região i

f_i – preço de oferta na região i

z_i – quantidade ofertada com preço p_i na região i

Adotando que a função de demanda para qualquer região i é contínua, diferenciável e monotonicamente decrescente, e que a função de oferta para qualquer região i é contínua, diferenciável e é monotonicamente crescente, temos que:

$$\partial(d_i(y_i))/\partial y_i \leq 0 \quad (4)$$

$$\partial(s_i(z_i))/\partial z_i \geq 0 \quad (5)$$

Definido a função de bem-estar (*quasi-welfare function*), a qual é representada pela área abaixo da curva da demanda menos a área abaixo da curva de oferta. Esta pode ser matematicamente expressa por:

$$W_i(y_i, z_i) = \int_0^{y_i} d_i(\eta_i) d\eta_i - \int_0^{z_i} s_i(\varepsilon_i) d\varepsilon_i \quad \forall i \quad (6)$$

Sendo as seguintes propriedades dessa função:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_i}{\partial y_i} &= d_i(y_i) = p_i \\ \frac{\partial W_i}{\partial z_i} &= -s_i(z_i) = -f_i \end{aligned} \quad \forall i \quad (7)$$

Assim, as derivadas parciais são preço de demanda e preço negativo de oferta. Dado as equações (4) e (5), temos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 W_i}{\partial y_i^2} &= \frac{d(d_i(y_i))}{dy_i} < 0 \\ \frac{\partial^2 W_i}{\partial z_i^2} &= -\frac{d(s_i(z_i))}{dz_i} < 0 \end{aligned} \quad \dots \forall i \quad (8)$$

A equação (8) implica que a função de bem-estar W_i é estritamente côncava com relação a y_i e z_i . Assim, a função de bem-estar pode ser dada por:

$$W \equiv \sum_{i=1}^n W_i(y_i, z_i) \quad (9)$$

Adotando x_{ij} representando o total de movimentações aceitáveis de i para j com um custo de transporte t_{ij} , temos a expressão a qual representa a função de bem-estar líquida (*Net quasi-Welfare*):

$$NW = W - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

Considerando a equação (10), pode-se definir o custo de transporte total por:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \equiv T' X \quad (11)$$

onde,

$$T = (t_{11}, \dots, t_{1n}, \dots, t_{n1}, \dots, t_{nn})'$$

$$X = (x_{11}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nn})'$$

Com a finalidade de demonstrar o equilíbrio espacial, se faz necessário que as restrições de balanço de demanda e oferta sejam satisfeitas, sendo que:

$$y_i \leq \sum_{j=1}^n x_{ji} \quad \forall i \quad (12)$$

$$z_i \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i \quad (13)$$

Dessa maneira, o modelo de equilíbrio espacial que delimita o nível de produção e consumo, o preço de comercialização e a quantidade comercializada entre as regiões, é representado por:

$$Max NW = \sum_{i=1}^n W_i(y_i, z_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \quad (14)$$

s.a

$$y_i \leq \sum_{j=1}^n x_{ji} \quad \forall i$$

$$z_i \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i$$

$$y_i, z_i, x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

4.4. PCM aplicado ao Milho Brasileiro

A solução sugerida através deste modelo é capaz de determinar os fluxos comerciais entre as regiões, detalhando as melhores opções para escoamento da produção de milho, levando em consideração os custos de transporte, localidade de produção e consumo. Além disso, é possível quantificar a redução da competitividade brasileira no mercado internacional frente a uma matriz de transporte desbalanceada.

Nesse capítulo, o modelo de otimização apresentado faz uso de uma formulação apresentada na forma de PCM, proposta por Rutherford (1995), Alvim (2003) e Oliveira (2011).

O equilíbrio de mercado é obtido através da maximização da função NSP¹⁰ pela soma dos excedentes dos produtores e consumidores, subtraindo os custos de transporte entre regiões produtoras

¹⁰ Sabe-se que a maximização da função NSP gera um quadro de condições de otimalidade, porém Samuelson previu problemas associados ao uso de seu modelo para fazer interferências sobre o bem-estar social. A expressão NSP é uma citação de “*Net Social Payoff*”, que exclui o bem-estar social. Para o estudo em questão, considera-se NW como sinônimo de NSP. (NW-descrito no capítulo 4.1).

e consumidoras (SAMUELSON, 1952). Quando a análise está restrita a uma região, o NSP é igual ao excedente total (ET), porém quando são consideradas várias regiões, o NSP é igual ao ET menos o somatório dos custos de transporte entre as regiões. (ALVIM, 2003).

Considerando a abordagem de Samuelson, Takayama e Judge (1971), onde mostraram que através de um quadro de programação quadrática, é possível determinar as dimensões espaciais e intertemporais de preço, produção, fator de uso e consumo.

Para garantir que as regiões de oferta não possam exportar mais do que produzem, e que as regiões de demanda não possam importar mais do que a capacidade demandada, as restrições (16) e (17) foram inseridas no modelo. Já a restrição (18) garante que as quantidades produzidas, consumidas e comercializadas não tenham valores negativos. (WAQUIL, 2000 e ALVIM, 2003).

Sendo assim, a seguir será apresentada a abordagem proposta¹¹:

$$NSP = \sum_{j=1}^J \int_0^{q_j} p_j dy_j - \sum_{i=1}^I \int_0^{q_i} p_i dz_i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \quad (15)$$

s.a

$$\sum_j x_{ij} - z_i \leq 0 \quad (16)$$

$$y_j - \sum_j x_{ij} \leq 0 \quad (17)$$

$$y_i \geq 0, \quad z_j \geq 0 \quad e \quad x_{ij} \geq 0, \quad (18)$$

sendo,

q_j = consumo na região j

q_i = consumo na região i

p_j = preço de demanda na região j

¹¹ Com o intuito de facilitar o desenvolvimento do modelo, a descrição do preço de demanda, que no capítulo 4.1 era definida como p_i , foi adotado por p_j . Isso porque foram consideradas i regiões de oferta e j regiões de demanda. Da mesma maneira z_i foi substituída por z_j como preço de oferta.

p_i = preço de oferta na região i

y_j = quantidade demandada na região j

z_i = quantidade ofertada na região i

x_{ij} = fluxo de produto entre a região i e a região j

t_{ij} = custo de transporte entre a região i e a região j

J = multiplicador de Lagrange : preço - sombra para o milho na região produtora i

I = multiplicador de Lagrange : preço - sombra para o milho na região consumidora j

Para se obter a função Lagrangeana¹² e as condições de Karush Kuhn-Tucker associadas ao problema de otimização, a função objetivo deve ser diferenciável, côncava e com restrições lineares. A mesma pode ser apresentada a seguir:

$$L = \sum_{j=1}^J \int_0^{q_j} p_j dy_j - \sum_{i=1}^I \int_0^{q_i} p_i dz_i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} - \sum_i \varphi_i \left[\sum_j x_{ij} - z_i \right] - \sum_j \lambda_j \left[y_i - \sum_i x_{ij} \right] \quad (19)$$

Resolvendo este problema de maximização, são obtidas as condições de Kuhn-Tucker. Dessa forma, temos:

$$\frac{\partial L}{\partial y_j} = p_j - \lambda_j \leq 0, \quad y_j \geq 0, \quad \frac{\partial L}{\partial y_j} \cdot y_j = 0, \quad \forall j \quad (20)$$

$$\frac{\partial L}{\partial z_i} = \varphi_i - p_i \leq 0, \quad z_i \geq 0, \quad \frac{\partial L}{\partial z_i} \cdot z_i = 0, \quad \forall i \quad (21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = -\varphi_i + \lambda_j - t_{ij} \leq 0, \quad x_{ij} \geq 0, \quad \frac{\partial L}{\partial x_{ij}} \cdot x_{ij} = 0, \quad \forall i, j \quad (22)$$

¹² Em casos que envolvam restrições do tipo “igualdade”, porém com mais restrições, o método do multiplicador de Lagrange é recomendado (Caixeta-Filho, 2001).

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = y_j - \sum_i x_{ij} \leq 0, \quad \lambda_j \geq 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_j} \cdot \lambda_j = 0, \quad \forall i, j \quad (23)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \varphi_i} = \sum_j x_{ij} - z_i \leq 0, \quad \varphi_i \geq 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \varphi_i} \cdot \varphi_i = 0, \quad \forall i, j \quad (24)$$

sendo,

φ_i = preço - sombra do produto produzido associado à região de oferta i

λ_j = preço - sombra do produto consumido associado à região de demanda j

Alvim (2003) explica que os multiplicadores de Lagrange podem ser representados como preço-sombra em mercados competitivos. Exemplo dado na função (19), onde o preço máximo que o consumidor está disposto a pagar por uma unidade adicional do produto/bem é indicado pelo multiplicador de Lagrange associado à restrição (16). Já o preço mínimo que o produtor está disposto a aceitar pela venda de uma unidade adicional do produto/bem está definido pelo mesmo multiplicador associado à restrição (17).

Na condição (20), pode-se observar que quando a quantidade demandada for maior que zero, o consumidor estará disposto a pagar o preço igual ao preço-sombra (preço de mercado) e se não houver consumo, o preço que o consumidor estará disposto a pagar será inferior ao preço-sombra. O que também pode ser verificado de maneira semelhante nas regiões produtoras (21), quando a produção forma maior que zero, o produtor desejará vender o produto pelo preço igual ao preço-sombra. E quando o preço que a firma deseja vender o produto for maior do que o preço-sombra, a quantidade produzida será igual à zero. (ALVIM, 2003).

Na condição (22), pode ser analisado o fluxo de bens entre as regiões, sendo que haverá comercio entre regiões quando o preço de mercado na região produtora (i) mais o custo de transporte da região i para a região j for igual ao preço de mercado na região consumidora. E não haverá fluxo comercial entre as regiões i e j quando o preço de mercado da região produtora mais o custo de transporte da região i para j for maior do que o preço de mercado da região consumidora.

As condições (23) e (24) relacionadas com o preço-sombra, o que indicam que quando o preço-sombra é maior do que zero, a quantidade produzida e exportada nas regiões produtoras i deverá ser

igual à quantidade consumida na região j, e que a quantidade demandada nas regiões i deve ser igual a quantidade produzida na região j.

Nas equações abaixo, a inclusão do símbolo “ $\perp$ ”, pode ser interpretado de que pelo menos uma das desigualdades adjacentes deve ser satisfeita como igualdade estrita, sendo assim é uma formalidade da complementariedade citada anteriormente, ao apresentar a condições de Karush Kuhn-Tucker. A apresentação dessa maneira das equações (28) e (29) é para facilitar a inclusão da tarifa adicional de transporte ou tarifa *ad-valorem*, favorecendo a implementação dos cenários propostos. Onde, nesse caso, o Cenário 2 propõe uma redução na tarifa de fretes ferroviário e hidroviário.

$$0 \leq \varphi_i \perp \sum_j x_{ij} + \sum_k x_{ik} \leq z_i \quad (25)^{13}$$

$$0 \leq \lambda_j \perp y_j \leq \sum_i x_{ij} \quad (26)$$

$$0 \leq \mu_k \perp y_k \leq \sum_i x_{ik} \quad (27)$$

$$0 \leq x_{ij} \perp p_i + t_{ij} \geq p_j \quad \forall_{i,j} \quad (28)$$

$$0 \leq x_{ik} \perp p_i + t_{ik} \geq p_k \quad \forall_{i,k} \quad (29)$$

Considerando a condição de lucro zero, foi incluída a tarifa *ad-valorem* na equação (29). Essa taxa pode ser denominada de “tat” (tarifa adicional de transporte). Nesse estudo, a tarifa apresenta implicações apenas nos fluxos destinados ao mercado internacional. Modificando a condição de lucro zero, como segue, temos:

¹³ No PCM os coeficientes de elasticidades são incluídos nas restrições (24), (25) e (26), substituindo as quantidades produzidas e consumidas pelas seguintes expressões:

$$z_i = a_i \cdot \varphi_i^{b_i}$$

$$y_j = c_j \cdot \lambda_j^{-d_j}$$

$$y_k = e_k \cdot \mu_k^{-f_k}$$

$$(p_i + t_{ik}) \cdot (1 + tat_{ik}) \geq p_k \quad \forall_{i,k} \quad (30)$$

Sendo assim, o modelo de PCM proposto para analisar o mercado de milho brasileiro é apresentado por:

i = regiões de oferta ($i = 1, \dots, 8$)

j = regiões de demanda doméstica ($j = 1, 2$)

k = regiões de demanda internacional ($k = 1, \dots, 4$)

r = rotas de transporte ($r = 1, \dots, 13$)

p_i = preço de oferta

p_j = preço de demanda doméstica

p_k = preço de demanda internacional

z_i = quantidade ofertada

y_j = quantidade consumida pela demanda doméstica

y_k = quantidade consumida pela demanda internacional

x_{ij} = quantidade movimentada de i a j

t_{ij} = custo de transporte de i a j

φ_i = preço-sombra associado à região de oferta i

λ_j = preço-sombra associado à região de demanda j doméstica

μ_k = preço-sombra associado à região de demanda k internacional

4.5. Dados utilizados no Modelo e apresentação dos Cenários.

Para implementação do modelo, inicialmente foram identificadas as regiões de oferta e demanda, e as rotas já existentes para escoar a produção agrícola dessas localidades. Após essa etapa, foram selecionados os estados brasileiros produtores e consumidores representativos, como também, os países demandantes representativos para a comercialização no Brasil. Os estados selecionados foram: Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e São Paulo como regiões de oferta de milho, em razão da expressividade na produção e/ou exportação. Já Santa Catarina e Rio Grande do Sul foram considerados como regiões de demanda. Os países importadores de milho considerados foram: Irã, Taiwan (China), Japão e Coreia do Sul. A Figura 8 representa, de maneira generalizada, os possíveis fluxos de comercialização entre as regiões de produtivas e as regiões consumidoras.

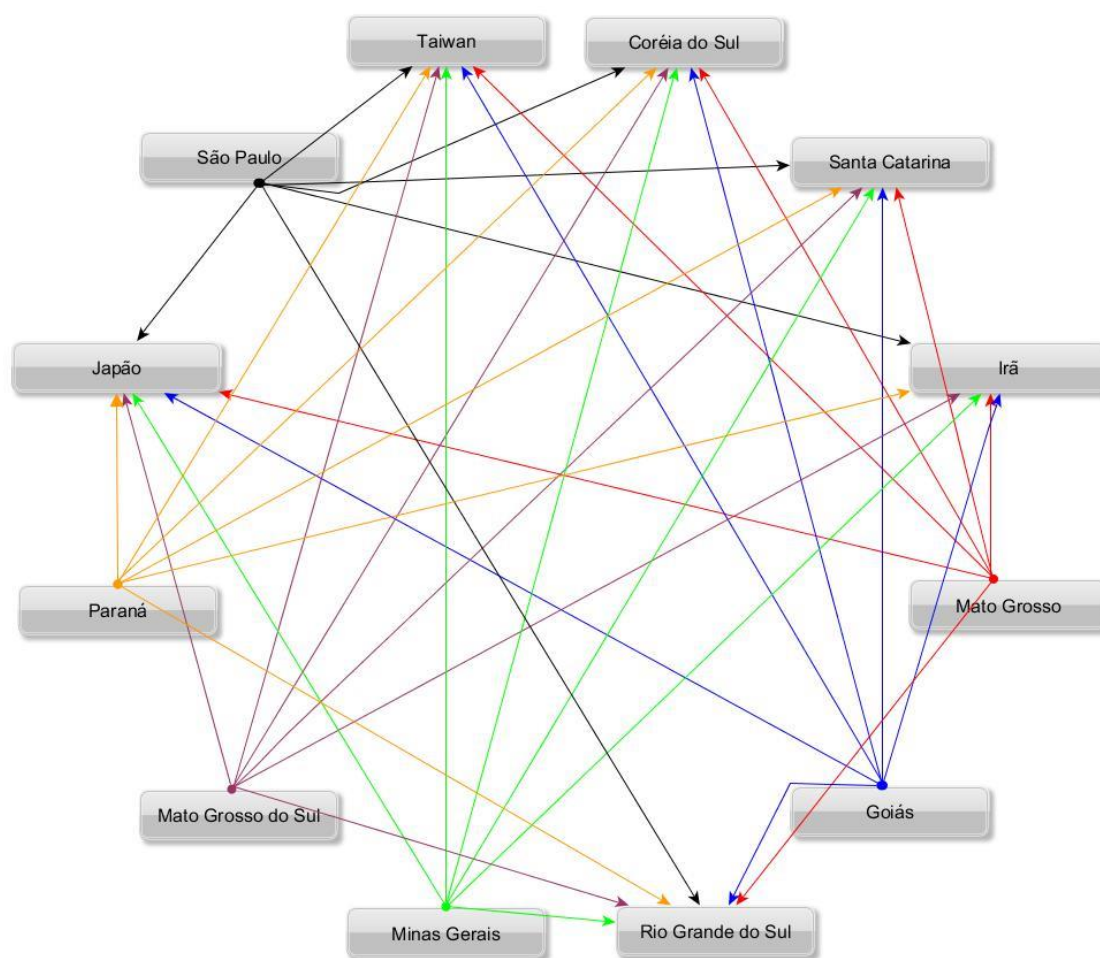


Figura 8. Fluxo das rotas entre região de oferta e região de demanda

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa (2014).

Os dados de produção tiveram como fonte o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e a Fundação Nação Unidas (FAO); os dados de consumo tiveram como base Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (ABIEPCS) e a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango (ABEF); e as cotações do milho para os diferentes estados foram baseadas na Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e para o mercado internacional foram baseadas pelo *U.S Department of Agriculture* (USDA). Os fretes dos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e marítimo tiveram como fonte o Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA). Já os dados de elasticidades-preço de oferta e demanda foram baseados nos estudos desenvolvidos por Fuller *et al.* (2001 e 2003) e *Food and Agricultural Policy Research Institute* (FAPRI, 2011).

Os fretes para o modal rodoviário foram baseados em dados do Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA) de 2013; para o modal ferroviário, os dados foram obtidos com a empresa Rumo Logística. Enquanto os dados referentes aos fretes hidroviários, transbordo (operação de transporte que consiste na transferência da carga de um modal a outro, pode também ocorrer na mudança de um veículo a outro) e tarifa portuária, foram baseados em Oliveira (2004) e Oliveira (2011).

Os fretes rodoviários foram estimados por meio de uma regressão linear baseada nas distâncias e nos fretes praticados para o milho e implementado no Excel. O comportamento do frete (variável de resposta) foi analisado por meio de um modelo de regressão linear múltipla, utilizando um banco de dados de fretes rodoviários praticados em 2013. Deste modo, para o modal rodoviário partiu-se da hipótese de existir um comportamento diferenciado para fretes com distâncias de até 500 quilômetros e superiores (variáveis explicativas).

No caso do custo ferroviário o modelo empregado foi o mesmo, mas a hipótese para o comportamento dos fretes em função da distância foi de até 800 quilômetros e superior.

Já para o modal hidroviário o número de observações disponíveis não foi suficiente para gerar um modelo com estatísticas significativas, entretanto apresentou um comportamento regular durante o ano com preços constantes para as distâncias envolvidas.

O modelo do PCM, aqui proposto, foi implementado no sistema de modelagem para programação matemática e de otimização *General Algebraic Modeling System* (GAMS).

Assim, foi criado o Cenário 1. O Quadro 3 apresenta os dados utilizados nesse cenário.

Quadro 3: Parâmetros do modelo, regiões de oferta e demanda do milho (2013/2014)

Oferta	Produção (t)	Consumo (t)	Excesso de Oferta (t)	Preço (US\$/t)	Elasticidade- preço de oferta
Mato Grosso	19.883,8	6.157,8	13.726,0	-	0,30
Norte - MT	13.521,0	4.514,6	9.006,4	111,97	0,3
Sudeste - MT	6.362,8	2.003,2	4.359,6	117,86	0,3
Mato Grosso do Sul	7.669,8	2.684,1	4.985,7	144,94	0,45
Paraná	16.110,6	11.520,8	4.589,8	161,07	0,38
Goiás	6.410,5	3.468,1	2.942,4	166,55	0,41
Minas Gerais	7.220,2	4.557,6	2.662,6	190,10	0,29
São Paulo	4687,2	3.924,7	762,5	187,46	0,29
Total	81.865,9	38.830,9	43.035,0		
Demanda Doméstica	Produção (t)	Consumo (t)	Excesso de Demanda (t)	Preço (US\$/t)	Elasticidade- preço de demanda
Santa Catarina	3.242,0	7.055,7	3.813,7	180,71	-0,11
Rio Grande do Sul	5.345,8	6.779,7	1.433,9	191,48	-0,11
Total	8.587,8	13.835,4	5.247,6		
Demanda Internacional	Produção (mil t)	Consumo (mil t)	Excesso de Demanda (mil t)	Preço (US\$/t)	Elasticidade- preço de demanda
Japão	1,0	15.200,0	15.199,0	231,03	-0,21
Coréia do Sul	80,0	9.900,0	9.820,0	231,03	-0,38
Irã	1.250,0	6.250,0	5.000,0	231,03	-0,19
Taiwan	100,0	4.325,0	4.225,0	231,03	-0,48
Total	1.431,0	35.675,0	34.244,0		

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa.

Para elaboração do Cenário 2, foi considerada uma redução de 15% nos fretes hidroviários e ferroviários, ou seja, os dados referente oferta e demanda não foram alterados, somente o custo com transporte. Esse cenário pode ser considerado supondo que as obras propostas no PAC II estivessem concluídas e assim, promovendo essa redução nos custos dos modais em questão, consequentemente impactando em toda cadeia logística de distribuição. Com isso, espera-se que as rotas intermodais sejam mais competitivas.

No Cenário 3, foram utilizados os mesmos dados base do Cenário 1, agregando rotas antes citadas no Capítulo 3, as quais são provenientes do PAC com obras de melhorias nas regiões Centro-Oeste e Norte. Portanto, nesse cenário, será considerado o prolongamento e o asfaltamento da BR-163, e com o potencial terminal privativo hidroviário no distrito do Miritituba, oeste do Pará, para assim movimentar pela hidrovía do Tapajós, com destino ao Porto de Santarém. Além de utilizar a Ferrovia Norte-Sul, a partir dos terminais de transbordo em Goiás. Nesse cenário, espera-se que com a inclusão das novas rotas, as mesmas sejam ativadas pelo modelo.

Para tal, duas novas rotas foram consideradas, as quais serão descritas abaixo:

- R14: as regiões de oferta escoarão sua produção via rodovia até o Porto de Miritituba, o qual seguirá ao Porto de Vila do Conde localizado no município de Barcarena-PA via hidrovía do Tapajós.
- R15: as regiões de oferta escoarão sua produção através do terminal de transbordo em Uruaçu-GO, de onde seguirá, via Ferrovia Norte-Sul, em direção a Açailândia-MA, e desse ponto seguirá ao Porto de Itaqui-MA, pela Estrada de Ferro Carajás.

Em uma visão geral, a Figura 9, ilustra o fluxo logístico das rotas consideradas para o desenvolvimento desse modelo nos três Cenários, indicando os pontos de origem, seus terminais de transbordo, portos de exportação ou destino, e modais utilizados.

5. RESULTADOS

O modelo de equilíbrio espacial obtido para a movimentação do milho brasileiro passou por um processo de verificação e validação dos dados para determinação de sua confiabilidade e utilidade, e assim gerar cenários futuros. Primeiramente, foram verificados os dados resultantes, analisando-se os fluxos gerados entre a oferta e demanda de milho nas respectivas regiões.

De acordo com Alvim (2003), os modelos de programação matemática são validados através da conferência da consistência dos resultados do problema. Para Waquil e Cox (1995), a validação pressupõe uma adequação dos coeficientes e da estrutura do modelo. O modelo pode ser validado através da verificação de quão bem a solução sugerida pelo modelo se aproxima da situação real. Segundo Thompson (1981) *apud* Waquil e Cox (1995), que analisou a evolução do comércio agrícola internacional dos Estados Unidos, existem várias razões pelas quais os modelos não produzem todos os fluxos comerciais observados de *commodities* agrícolas dentre elas: os produtos podem não ser perfeitamente homogêneos; alguns países impõem restrições sanitárias às importações, e os importadores podem diversificar suas compras, entre vários fornecedores.

Assim, diferenças entre os resultados estimados pelo modelo e os dados observados ocorreram, mas sem invalidar o modelo. Na Tabela 11, pode-se verificar os níveis de oferta e de demanda estimados pelo modelo, ou seja, os volumes praticados na safra 2013/2014 (Observados) e os dados estimados a partir do modelo matemático (Cenário 1, 2 e 3).

Tabela 11.: Volumes de oferta, demanda doméstica e demanda internacional, estimativas do modelo (Cenário 1, 2 e 3) e Dados Observados.

Regiões selecionadas	Cenário 1 (A)	Cenário 2 (B)	Cenário 3 (C)	Dados Observados	Variação (B/A)	Variação (C/A)	Variação (C/B)
OFERTA	(mil toneladas)				(%)		
Mato Grosso	7.908,36	8.065,96	9.116,03	13.366,03	1,99	15,27	13,02
Norte	4.844,29	4.871,96	6.365,55	9.006,40	0,57	31,40	30,66
Sudeste	3.064,07	3.194,00	2.750,48	4.359,63	4,24	-10,23	-13,89
Mato Grosso do Sul	3.016,20	2.950,13	2.678,72	4.985,75	-2,19	-11,19	-9,20
Paraná	3.450,14	3.410,47	3.251,22	4.589,80	-1,15	-5,77	-4,67
Goiás	1.802,01	1.849,11	1.628,94	2.942,39	2,61	-9,60	-11,91
Minas Gerais	1.993,58	1.974,57	1.897,33	2.662,56	-0,95	-4,83	-3,91
São Paulo	598,23	593,32	573,52	762,45	-0,82	-4,13	-3,34
TOTAL OFERTA	18.768,53	18.843,55	19.145,75	29.308,98	0,40	2,01	1,60
DEMANDA DOMÉSTICA							
Santa Catarina	4.035,71	4.045,19	4.083,65	3.813,66	0,23	1,19	0,95
Rio Grande do Sul	1.524,31	1.527,83	1.542,10	1.433,92	0,23	1,17	0,93
SUB-TOTAL	5.560,03	5.573,02	5.625,75	5.247,58	0,23	1,18	0,95
DEMANDA INTERNACIONAL							
Japão	4.061,69	4.074,31	4.124,77	3.737,26	0,31	1,55	1,24
Coréia do Sul	4.055,21	4.078,09	4.170,17	3.484,88	0,56	2,83	2,26
Irã	2.362,48	2.369,50	2.397,59	2.168,57	0,30	1,49	1,19
Taiwan	2.729,11	2.748,63	2.827,47	2.250,72	0,72	3,60	2,87
SUB-TOTAL	13.208,50	13.270,53	13.520,00	11.641,44	0,47	2,36	1,88
TOTAL DEMANDA	18.768,53	18.843,55	19.145,75	16.889,02	0,40	2,01	1,60

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa, 2014.

O Cenário 1 representa as transações comerciais sem a imposição de redução de custos ou alteração de rotas, ou seja, representa as transações com os dados já praticados pelo mercado. Comparando o Estado do Mato Grosso, região de oferta, pode-se observar que a mesma obteve aumento 1,99% do Cenário 2, e de 15,27% no Cenário 3, em relação ao Cenário 1. Esse fato demonstra a priorização dessa região de oferta para o modelo. Enquanto demais regiões de oferta apresentaram queda. Em relação à demanda, as regiões demandantes, tanto domésticas como internacional, apresentaram aumento em seu volume.

No Cenário 2, as regiões que utilizaram das rotas intermodais, como Mato Grosso, aumentaram o volume de comercialização. Já regiões como São Paulo e Minas Gerais, as quais utilizaram de rota rodoviária direta, tiveram redução no volume de comercialização. No Cenário 3, a rota intermodal para o Norte do Mato Grosso, melhorou o volume de comercialização, o que comprova que é viável o projeto de utilizar essa rota (14) e obter mais uma opção para saída do milho pelos portos do norte do país.

Apesar das variações observadas, pequenas diferenças entre os resultados estimados e os dados observados são esperadas em modelos de equilíbrio espacial. É importante destacar que o modelo aplicado nesse estudo é restringido pela demanda, apesar de se ter uma oferta de 29.308,98 mil toneladas, a demanda geral é de 16.889,02 mil toneladas. Dessa maneira, o modelo satisfaz a demanda, mesmo possuindo uma oferta maior. Ou seja, nesse caso, podem-se ampliar as relações de comércio internacional, incluindo outros países demandantes.

A partir da simulação dos Cenários 2 e 3, é possível verificar que os desencadeamentos de redução de custos de fretes e novas opções de rotas logísticas terão reflexos diferenciados nas principais regiões produtoras brasileiras e também nas regiões de demanda. Essas diferenças se dão em decorrência das condições da infraestrutura de transporte e das opções logísticas disponíveis. Os Quadros 4, 5 e 6 apresentam os fluxos comerciais e as rotas logísticas utilizadas para a movimentação do milho nos Cenários 1, 2 e 3, respectivamente.

Quadro 4: Fluxos Comerciais por rota de transporte no Cenário 1 (mil toneladas).

Oferta	Demanda	Rotas ¹⁴					
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R7</i>	<i>R10</i>	<i>R13</i>
PR	SC		3.450,14				
MS	SC		585,57				
MS	RS	1.524,31					
MT-N	Japão						4.061,69
MT-N	Coréia						782,60
MT-SE	Taiwan				2.691,35		
MT-SE	Coréia				372,72		
MS	Coréia					906,32	
GO	Irã			1.764,25			
GO	Taiwan			37,76			
MG	Coréia			1.993,58			
SP	Irã			598,23			

Cenário 1:

Rota rodoviária (unimodal): R1; R2; R3.

Rota intermodal: R7, R10; R13.

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

¹⁴ Descrição das rotas e regiões de oferta e demanda, ver ANEXO A.

Quadro 5: Fluxos Comerciais por rota de transporte no Cenário 2 (mil toneladas).

Oferta	Demanda	Rotas ¹⁵						
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R7</i>	<i>R8</i>	<i>R10</i>	<i>R13</i>
PR	SC		3.410,47					
MS	SC		634,72					
MS	RS	1.527,83						
MT-N	Japão							4.074,31
MT-N	Coréia							797,65
MT-SE	Taiwan				2.748,63			
MT-SE	Coréia				445,37			
MS	Coréia						787,58	
GO	Coréia					1.849,11		
MG	Irã			1.974,57				
SP	Irã			394,93				
SP	Coréia			198,39				

Cenário 2:

Rota rodoviária (unimodal): R1; R2; R3.

Rota intermodal: R7; R8; R10; R13.

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

¹⁵ Descrição das rotas e regiões de oferta e demanda, ver ANEXO A

Quadro 6: Fluxos Comerciais por rota de transporte no Cenário 3 (mil toneladas).

Oferta	Demanda	Rotas ¹⁶					
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R7</i>	<i>R10</i>	<i>R14</i>
PR	SC		3.251,22				
MS	SC		832,43				
MS	RS	1.542,10					
MT-N	Japão						4.124,77
MT-N	Coréia						2.240,78
MT-SE	Taiwan				2.750,48		
MS	Irã					227,19	
MS	Taiwan					76,99	
GO	Coréia			1.628,94			
MG	Irã			1.897,33			
SP	Irã			273,07			
SP	Coréia			300,45			

Cenário 3:

Rota rodoviária (unimodal): R1; R2; R3.

Roda intermoda: R7; R10; R14.

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

¹⁶ Descrição das rotas e regiões de oferta e demanda, ver ANEXO A

No Cenário 1, o qual as estimativas obtidas pelo modelo foram feitas através de dados praticados pelo mercado, mostra que para o mercado doméstico, o Estado de Santa Catarina, o qual é demandante, recebe o total da produção de milho do Estado do Paraná e uma parcela da produção do Estado do Mato Grosso do Sul (em torno de 19,4%), ambas enviadas apenas pelo modal rodoviário. A outra parcela produzida pelo Estado do Mato Grosso do Sul (1.524,31 mil toneladas, cerca de 50,5%) é enviada ao Estado do Rio Grande do Sul também através do modal rodoviário.

No âmbito de mercado internacional, o Cenário 1 mostra que 83,8% da produção do norte do Estado do Mato Grosso é enviada ao Japão e 16,2% para a Coreia do Sul, ambos pela rota intermodal (rodohidrovia) com destino ao Porto de Santarém, através da hidrovia do Rio Madeira (rota 13). Já a produção do sudeste do Mato Grosso, em torno de 88% é enviada para Taiwan e 12% para a Coreia do Sul, ambas através da rota intermodal rodoferroviária via Terminal de Transbordo de Rondonópolis, para Porto de Santos (rota 7). A parcela restante da produção do Estado do Mato Grosso do Sul (30%), é destinada ao mercado internacional, à Coreia do Sul, a qual é enviada através da rota intermodal (rodoferroviária) ao Porto de Paranaguá (rota 10). A maior parte da produção do Estado de Goiás, em torno de 98%, é enviada ao Irã, e o restante a Taiwan, via modal rodoviário ao Porto de Santos (rota 3). As produções dos estados de Minas Gerais e São Paulo enviam a Coreia do Sul e Irã, respectivamente, ao Porto de Santos também via modal rodoviário (rota 3).

A Figura 10 ilustra o fluxo comercial entra as regiões de oferta e demanda doméstica e demanda internacional, demonstrando as rotas ativas pelo modelo no Cenário 1.

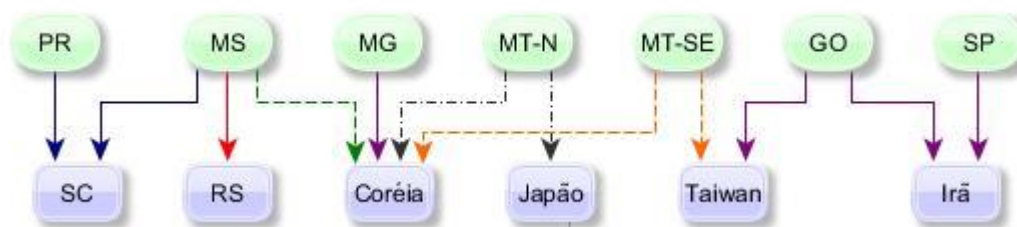
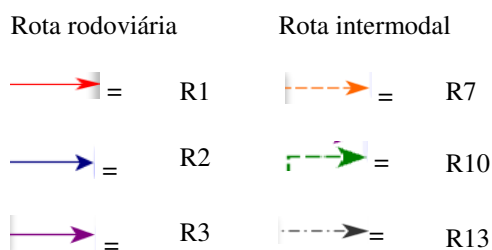


Figura 10. Fluxo comerciais por rota de transporte entre região de oferta e região de demanda, Cenário 1.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa (2014).

Legenda:



A movimentação do milho no Cenário 2, o qual obteve redução de 15% nos valores de frete hidroviário e ferroviário, não obteve grandes alterações nas regiões produtoras de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná. As grandes modificações foram no Estado de São Paulo, que passou a fornecer o cereal a dois países, os quais são Irã (66,6%) e Coréia do Sul (33,4%), e Minas Gerais que passa a fornecer ao Irã, ambos com via Porto de Santos pelo modal rodoviário (rota 3). O Estado de Goiás, que antes fornecia para Irã e Taiwan, passa a fornecer apenas para a Coréia do Sul, via Porto de Santos pela rota intermodal rododiferroviária, através do Terminal de transbordo de São Simão (rota 8), a qual passa ser competitiva.

A Figura 11 ilustra o fluxo comercial entre as regiões de oferta e demanda doméstica e demanda internacional, demonstrando as rotas ativas no cenário 2. Comparada a Figura 9, pode-se verificar a movimentação dos fluxos e o aumento da utilização das rotas intermodais.

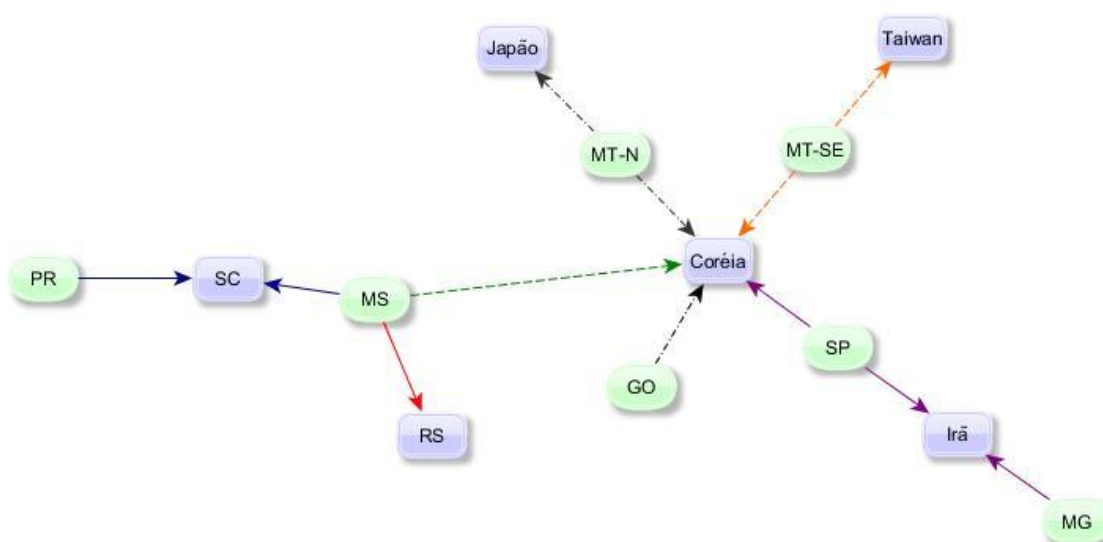
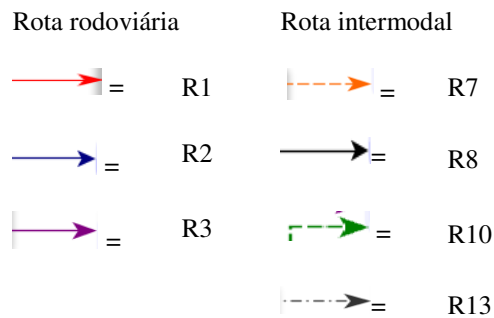


Figura 11. Fluxo comerciais por rota de transporte entre região de oferta e região de demanda, Cenário 2.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa (2014).

Legenda:



O Cenário 3, o qual foi inserido novas rotas, apresentou um aumento na produção no norte do Mato Grosso comparado ao Cenário 1, em torno de aproximadamente 24%. Nessa região produtora, a parcela da produção enviada ao mercado internacional, 65% para o Japão e 35% para a Coréia do Sul, teve a rota alterada. Antes, o que era enviado aos países de destino via Porto de Santarém, nesse cenário mostra que rota competitiva é a rota intermodal rodrohidroviaria, onde a produção segue de caminhão até o Porto de Miritituba e daí segue via hidrovía dos Tapajós ao Porto de Vila do Conde (rota 14). Outra alteração é a produção do sudeste do Mato Grosso, onde é enviada em sua totalidade para Taiwan através da rota intermodal, onde segue de caminhão até o terminal ferroviário de Rondonópolis e segue ao Porto de Santos via ferrovia (rota 7). A produção do Estado do Mato do Grosso do Sul destinado ao mercado internacional, que antes era em torno de 30% (Cenário 1) e 26% (Cenário 2), nesse cenário é enviada para dois países, onde é em torno de 9,6% para o Irã e 3,2% para Taiwan (redução da produção exportada de aproximadamente 500 mil t), porém continua utilizando a rota intermodal rodoferroviário, onde segue de caminhão até o Terminal ferroviário de Maringá e segue via ferrovia ao Porto de Paranaguá (rota 10).

A Figura 12 ilustra o fluxo da comercialização entra as regiões de oferta e demanda doméstica e demanda internacional, demonstrando as rotas ativas no Cenário 3.

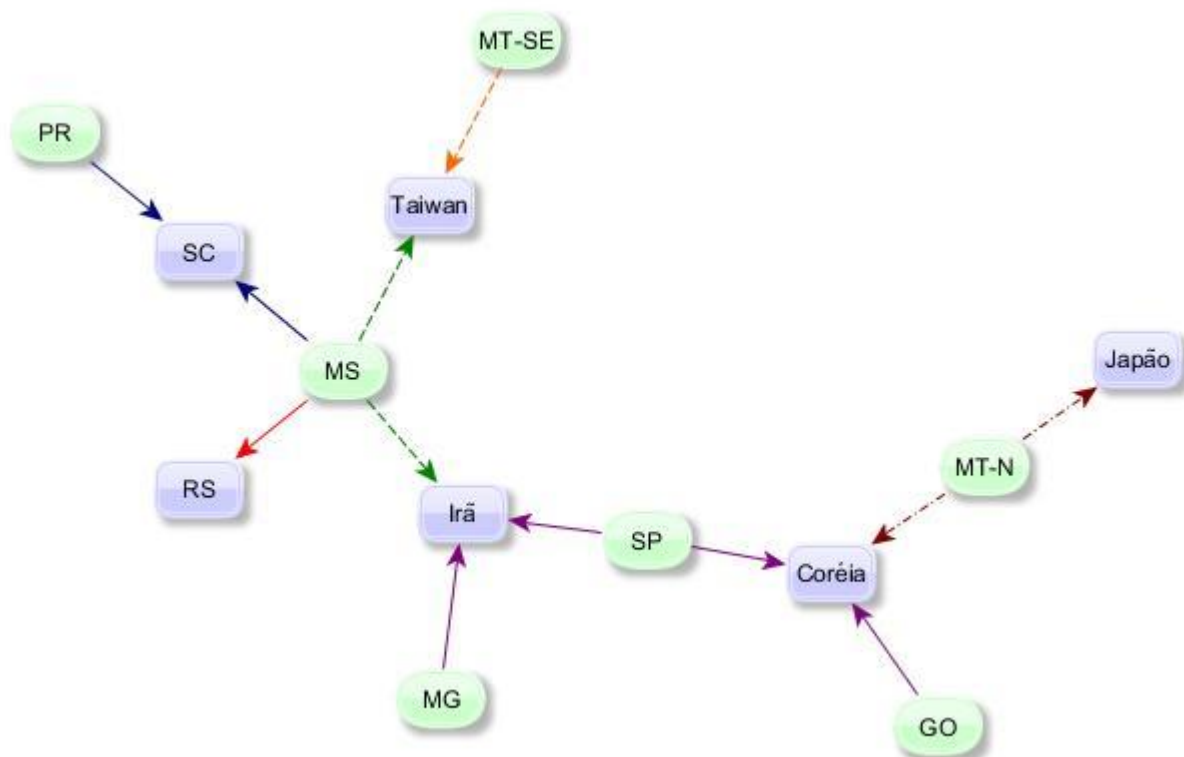


Figura 12. Fluxo comerciais por rota de transporte entre região de oferta e região de demanda, Cenário 3.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa (2014).

Legenda:

Rota rodoviária		Rota intermodal	
	= R1		= R7
	= R2		= R10
	= R3		= R14

Outra análise que pode ser feita nos Cenários 1 e 3, onde 50% das rotas utilizadas para a movimentação logística da produção do milho entre regiões de oferta e regiões de demanda, foi movimentada através de rotas unimodal, ou seja, utilizou apenas do modal rodoviário, enquanto as demais rotas intermodais utilizadas, um terço para enviar a produção foi movimentada através de rodohidrovia. O Cenário 2, possui uma configuração diferente, pois 60% das rotas utilizadas foram intermodais. Dessa forma, os Cenários 1 e 3 movimentou em torno de 53% e 51%, respectivamente, da produção via rodovias, enquanto no Cenário 2, movimentou 56,8% da produção de milho através de rotas intermodais. Vale destacar que destacar que a região norte do Mato Grosso no Cenário 3, a qual aumenta sua capacidade e produção de acordo com os resultados do modelo, também obteve uma melhora nos custos de transporte, pois através do menor custo de frete, o modelo prioriza essa região ao invés das demais, já que não possuem custo de transporte competitivo. Assim, pode se perceber a importância da criação de uma nova rota implementada nesse cenário, validando a rota (14) sugerida e já praticada por algumas empresas como a Bunge na mesma região.

Uma avaliação complementar foi feita ao Cenário 2, através da Análise de Sensibilidade¹⁷, o foi elegido por se acercar mais da realidade próxima a ser praticada, ou seja, é possível conseguir a redução dos fretes citados, de 15%, pois normalmente as empresas acabam cobrando uma certa porcentagem a mais pelos fretes.

De acordo com Alvim (2003), a elasticidade-preço de demanda mensura a reação dos consumidores referente às mudanças no preço, enquanto a elasticidade-preço de oferta mensura a reação dos vendedores às mudanças no preço. Quando acontece uma mudança nos preços de mercado, podem ocorrer modificações nos volumes consumidos e produzidos que são mais ou menos intensas, dependendo das inclinações das curvas de oferta e demanda do produto avaliado. Nesse estudo, as elasticidades-preço de oferta e demanda são distintas, conforme região, dessa maneira certas mudanças nos preços podem implicar variações mais ou menos intensas em cada região.

Portanto, a análise de sensibilidade será feita sobre dois parâmetros: a elasticidade-preço de oferta e a elasticidade-preço de demanda, não alterando os dados de oferta e demanda, em dois momentos. Dessa forma, algumas simulações foram feitas para avaliar o comércio do milho brasileiro, a partir da variação positiva e negativa desses parâmetros. Assim, foi simulado um aumento de 50% nas elasticidades-preço de oferta e de demanda, C2S+50 e C2D+50, respectivamente, e uma

¹⁷ Conforme Law e Kelton (1991), a análise de sensibilidade pode ser definida como uma técnica que permite, de maneira controlada, conduzir experimentos e pesquisas por meio de um modelo de simulação. Esse tipo de análise é um instrumento importante que permite constatar tendências e avaliar os impactos associados: às alterações de valores das variáveis de entrada e dos parâmetros do sistema, e às mudanças estruturais em um modelo. Esses impactos são determinados por meio de análises das variáveis de saída.

diminuição de 50% nas elasticidades-preço de oferta e de demanda, C2S-50 e C2D-50. O parâmetro elasticidade-preço de oferta está associado às regiões produtoras no Brasil, e o parâmetro elasticidade-preço de demanda está associado às regiões de consumo doméstico e internacional.

Quadro 7: Volumes de comercialização de milho obtidos a partir das alterações nas elasticidades-preço de oferta e elasticidade-preço de demanda, Cenários 2. (em mil toneladas)

Variáveis	Cenário 2	C2S+50	C2S-50	C2D+50	C2D-50
Oferta	18.843,55	18.358,89	19.352,65	17.875,89	19.663,10
Demanda doméstica	5.573,02	5.489,66	5.662,27	5.404,91	5.690,06
Demanda internacional	13.270,53	12.869,22	13.690,37	12.470,98	13.973,05

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Após a análise de sensibilidade, todos os fluxos comerciais apresentam perdas quando a elasticidade-preço de oferta nas regiões produtoras aumenta (C2S+50), ou seja, os consumidores respondem negativamente a esta variação. Isso se dá porque com o aumento da oferta, consequentemente há aumento nos custos para escoamento da produção já que o sistema de transporte não comporta adequadamente a quantidade maior de grãos de milho a ser ofertada, o que gera aumento no custo final do produto.

No Cenário 2, as comercializações haviam totalizado 18.843,55 mil toneladas, porém com a simulação do quadro C2S+50, o volume transacionado passou a ser 18.358,89 mil toneladas, uma redução de 2,6%. A maior perda foi no quadro C2D+50, com uma queda de 5%, onde o volume caiu para 17.857,89 mil toneladas. O maior ganho em termos de volume foi observado na simulação C2D-50, onde houve um aumento de 4,3%, chegando a 19.663,10, chegando próximo do Cenário 3.

Em relação às elasticidades-preço de demanda, os fluxos comerciais apresentam, queda a esta variação. No Cenário 2, as comercializações de demanda internacional haviam totalizado 13.270,53 mil toneladas, mas com a simulação C2D+50, o volume transacionado obtém uma queda de 6%, enquanto no volume transacionado da demanda doméstica houve uma queda de 3%. Quanto a simulação C2S+50, na demanda doméstica houve uma queda de 1,5%, e a demanda internacional uma queda de 3%. Isso ocorre, pois o mercado internacional não está disponível para absorver um aumento de preço, já que os países importadores do milho podem deixar de importar do Brasil e iniciar comercialização com outros fornecedores mais competitivos.

Em um quadro de variações negativas da elasticidade-preço de demanda (C2D-50), os ganhos foram percebidos por ambas as regiões (de oferta e regiões de demanda). Isso porque caso ocorram ganho de produtividade, estes se refletem nos preços de comercialização, e essas regiões internalizam positivamente tal variação, assim aumentando os volumes transacionados entre as essas regiões.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a expansão das fronteiras agrícolas, regiões como Norte, Nordeste e principalmente Centro-Oeste acolheu foram destinos para o aumento da produção agrícola. Com as últimas safras recordes e aumento nos ganhos de produtividade, o Brasil apresentou um bom desempenho na produção agrícola.

O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição logística do milho e identificar os entraves para o ganho da competitividade frente ao mercado internacional. Dessa maneira, foi caracterizada a oferta e demanda desse cereal, bem como o sistema logístico utilizado para escoar o produto.

O segundo Capítulo apresentou a caracterização da oferta e demanda do milho, tanto no mercado interno, quanto no mercado externo. Nesse pode-se observar a movimentação interna e internacional que o milho faz para sair do produtor e chegar ao seu destino consumidor. Comparou-se as safras dos maiores produtores mundiais bem como comparar e analisar a produção dos principais estados brasileiros produtores. O terceiro Capítulo tratou da importância que a logística agroindustrial possui para os negócios agrícolas e também as rotas mais utilizadas para o escoamento da safra agrícola, em especial o milho brasileiro.

Com o estudo realizado, pode-se verificar que o país está crescendo diante a produção e exportação do milho, porém ficou bem claro a distância que o milho necessita percorrer para alcançar os portos exportadores, rumo ao país consumidor, distâncias que são extremamente significativas, as quais são feitas em quase sua totalidade através do modal rodoviário direto.

No Brasil, o transporte rodoviário é o principal modal utilizado para movimentação de cargas, tanto agrícolas como industriais. Os dados demonstram que ainda há falta de infraestrutura do sistema logístico de distribuição do Brasil, como por exemplo, a falta de estradas pavimentadas.

Com a aplicação da metodologia, foi possível observar os efeitos das movimentações de fluxos de milho entre diferentes regiões sobre a ótica de oferta e demanda, com a implementação de possíveis Cenários, onde foram considerados redução nos custos de fretes ferroviários e hidroviários, e inserção de novas rotas, pressupondo que obras de melhorias na infraestrutura logística brasileira estivessem concluídas.

Dessa maneira, a presente hipótese do trabalho é confirmada, já que houve aumento nos fluxos de comercialização movimentado, comparado os três cenários apresentados e na implementação da intermodalidade.

As condições da infraestrutura rodoviária no Brasil possuem implicações diretas nos custos logísticos associados para a movimentação de bens e produtos. Na atualidade, os fretes praticados nas diferentes regiões brasileiras variam, principalmente, em função das condições da malha, da idade média da frota de caminhões e dos altos índices de tráfego de veículos nos grandes centros urbanos. Ou seja, esse panorama rodoviário acaba onerando, excessivamente, bens e produtos movimentados no Brasil.

A intermodalidade é uma das melhores formas para se obter a eficiência do sistema de transporte além de reduzir os custos com frete, desde que se busque combinar os modais que se mostrem mais eficientes conforme o trecho a ser utilizado. Essa combinação entre os modais é viável desde que respeite a capacidade e as especificidades de cada modal, e principalmente da carga a ser movimentada, nesse caso graneis agrícolas. Em consequência da infraestrutura logística brasileira deficiente, não é possível utilizar a capacidade máxima do modal a ser utilizado, como no caso das hidrovias nacionais que não são totalmente navegáveis, as ferrovias, as quais possuem pouca malha ferroviária, e as péssimas condições das rodovias, podendo ocorrer excesso de perdas.

Os investimentos com a infraestrutura logística do nosso país seria a maneira mais eficiente e adequada para a redução dos custos logísticos, porém como isso depende principalmente de decisões da Gestão Pública, a qual muitas vezes possuem grande burocracia e divergência de opiniões, trabalhar com a otimização das rotas logísticas existentes e a utilização da intermodalidade nas condições atuais seria uma solução inicial e ao alcance dos usuários, para que a minimização desses custos possa ser alcançada. Uma opção a médio prazo seria investir nas melhorias nos terminais de transbordos já existentes e realização de novos terminais.

A partir do modelo proposto, os resultados demonstram que para uma distribuição ótima do volume movimentado, é necessário fazer uso das rotas intermodais para ganho de competitividade diante o mercado internacional, onde resultou principalmente na região norte do Mato Grosso um aumento no volume de oferta demandada dessa região, onde a mesma utilizaria de portos mais próximos e rotas mais viáveis. Caso do Cenário 3, onde a rota 14 é ativa, a qual é uma rota proposta por Projetos do Governo, no caso o PAC II, e já com pequenas operações por empresas privadas.

Para estudos futuros, sugere-se aplicar o modelo desenvolvido ampliando-se as regiões de demanda internacional. Além disso, o foco das análises pode ser direcionado para avaliar a eficiência de um sistema intermodal futuro ainda não existente e, assim, verificar a otimalidade das rotas resultantes de projetos viários futuros e subsidiar políticas públicas para o setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMILHO – Associação Brasileira das Indústrias do Milho. **O cereal que enriquece a alimentação humana.** Disponível em <http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>. Acessado em abril 2014.

ALMEIDA, E.S.; HADDAD, E.A. MEECA: um modelo econométrico espacial para projeção consistente de culturas agropecuárias. **Rev. Econ. Sociol. Rural** vol.42 no.3 Brasília July/Sept. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032004000300006&script=sci_arttext. Acesso em janeiro 2015;

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/>. Último acesso em fevereiro 2015.

ALVIM, A. M. **Os impactos dos novos acordos de livre comércio sobre o mercado de arroz no Brasil: um modelo de alocação espacial e temporal.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. 2003.

ALVIM, A. M.; WAQUIL, P. D. O problema de complementaridade mista: um modelo de alocação espacial aplicado ao setor agrícola. In: Santos, M. L. e Vieira, W. C. **Métodos quantitativos em economia.** Viçosa: UFV, 2004.

ALVIM, A.M; WAQUIL, P.D - Efeitos de acordo entre Mercosul e a União Europeia sobre mercados de Grãos. **Rev. Econ. Social. Rural.** Vol.43 nº 4. Brasília . Out./Dez.2005.

ANDA – Associação Nacional para difusão de adubos. Indicadores. Disponível em: <http://www.anda.org.br/>;

ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/>.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em <http://www.antt.gov.br/>

AZZONI, C. R. ; FERREIRA, T. T. . **Arranjos institucionais e investimento em infraestrutura no Brasil.** Revista do BNDES 35, junho 2011, p 37-86.

Banco do Nordeste – Agricultura Familiar. Disponível em: http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/Pronaf/agricultura_familiar/gerados/apresentacao.asp;

BATALHA, Mário Otávio (coord.). **Gestão agroindustrial:** GEPAI: Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais. 3. ed. 6.reimpressão. São Paulo, SP: Atlas, 2012. vol 1;

BATALHA, M. O. (coord.). **Gestão agroindustrial:** GEPAI: Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais. 5. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2010. vol 2;

BOWERSOX, D.J; CLOSS, D.; COOPER, M.B. **Gestão logística de cadeia de suprimentos.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRASIL, Ministério do Planejamento. **PAC:** Plano de Aceleração do Crescimento. Disponível em <http://www.pac.gov.br/> .

BRASIL, Ministério dos Transportes. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/>;

BISHOP, P.M.; NICHOLSON, C.F.; PRATT, J.E. **Tariff-Rate Quotas: difficult to model or plain simple.** Trade Working Papers 2001, East Asian Bureau of Economic Research. Disponível em: http://www.eaber.org/intranet/documents/22/2176/NZIER_Bishop_2001.pdf.

CAETANI, M. I. R. R. **Os efeitos dos custos de transações comerciais e do livre comércio no mercado internacional da soja**. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014.

CAIXETA-FILHO, J. V.; MACAULAY, T. G. A utilização de modelos de equilíbrio espacial para a avaliação econômica de políticas agrícolas: estudo de caso australiano. In: XXVII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, São Paulo, 1989. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**, p. 232-245, 1989

CAIXETA-FILHO - FILHO, J. V., Transporte e logística no sistema agroindustrial. **Preços Agrícolas**: mercados agropecuários e agribusiness, Piracicaba, v.10 n.119, p.2-7, 1996

CAIXETA-FILHO - FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. **Transporte e Logística em Sistemas Agroindustriais**. São Paulo, SP: Atlas, 2001;

CAVALCANTE, J. e MERCENIER, J. Uma avaliação dos ganhos dinâmicos do Mercosul usando equilíbrio geral. **Pesquisa e Planejamento Econômico**. V.29, n.2. 1999;

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP. Disponível em <http://cepea.esalq.usp.br/milho/>;

Centro Nacional de Pesquisa de Milho e sorgo - **EMBRAPA Milho e Sorgo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/>;

CEPA – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. Agroindicadores; disponível em <http://www.icepa.epagri.sc.gov.br>.

CHIANG, Alpha. Condição de Kuhn-Tucker - Matemática para economistas. Editora de São Paulo. p. 614-645. 1982.

CNT – Confederação do Transporte Nacional; disponível em <http://www.cnt.org.br/>;

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, disponível em <http://www.conab.gov.br/>.

CRAINIG, T. G.; LAPORTEG. Planning models for freight transportation. **European Journal of Operational Research**, 97, p. 409–438, 1997.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/>. Último acesso em janeiro de 2015.

DUARTE, J.O.; GARCIA, J.C.; MIRANDA, R.A.; **Sistema de Produção**, Versão Eletrônica - 7ª edição Set./2011. EMBRAPA. 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.embrapa.br/>;

ENKE, S. Equilibrium among Spatially Separated Markets: Solution by Electrical Analogue. **Econométrica**, Princeton, vol. 19, p. 40-47, 1951

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. **Foreign Agricultural Service**; disponível em <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>;

FAPRI – *Food and Agricultural Policy Research Institute*. Disponível em: <http://www.fapri.org/>. Último acesso em novembro 2014.

- FELLIN, L. R. **International corn and soybean transportation system: quadratic programming models**. 1993. Tese (Doutorado em Economia Agrícola) – Texas A&M University, College Station.
- FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (org.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo, SP: Atlas, 2003.
- FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Editora Atlas, 2000.
- FLEURY, P. F. Terceirização logística no Brasil. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (Eds.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo: Editora Atlas, p. 313-324, 2003;
- FOSCHEZATTO, A. testando um modelo de equilíbrio geral computável para a economia gaúcha: impactos da reestruturação tributária. **Ensaio FEE**. Porto Alegre, vol.23 n.23, 2002. Disponível em: http://cdn.fee.tche.br/eeg/1/mesa_5_foschezatto.pdf.
- FULLER, S. *et al.* **Effect of Improving South American Transportation System on U.S. and South American Corn and Soybean Economies**. Washington: USDA, 2001. 40p.
- FULLER, S. *et al.* Transportation developments in South America and their effect on international agricultural competitiveness. **Journal of the Transportation Research Board**, Washington, issue 1820, p.62-88, 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>;
- LAW, A M., KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis. 2. Ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- LÍCIO, A. Os eixos estruturadores e dos corredores de transportes. *Revista de Política Agrícola*, v.9, n.4, pp.3-4, 1995.
- LIEB, R. C. **Transportation: the domestic system**. Reston: Reston Publishing, 1978. Cap. 7.
- LOPES, R.L.; CAIXETA-FILHO -FULHO, J.V. Suinocultura no estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização. **Pesquisa Operacional**. vol.20 no.2 Rio de Janeiro Dez. 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382000000200006&script=sci_arttext. Acesso em janeiro 2015;
- MF RURAL. Disponível em: <http://www.mfrural.com.br/>.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Cadeia Produtiva do Milho**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília, Mapa/SPA, 2007.
- MAPA –Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Agrícola e Pecuário 2011-2012** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília, Mapa/SPA, 2011.
- MARCHETTI, D., VILLAR, L. **Dimensionamento do potencial de investimentos**. BNDES Setorial, n. 24, p. 262-290, 2006.
- MARTINS, R.S, LEMOS M.B. Corredor centro-leste: sistemas de transporte de Minas Gerais na perspectivas dos eixos de desenvolvimento e integração. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2006.
- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio exterior. Acesso em outubro de 2014. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/>

- MORABITO, R.; IANNONI, A.P. BATALHA, Logística Agroindustrial. In: Mário Otávio (coord.). **Gestão agroindustrial: GEPAI : Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais**. 3. ed. 6.reimpressão. São Paulo, SP: Atlas, 2012. vol 1;
- NOVAES, A. G. . **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3. ed. rev. atual. e ampl. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, c2007. 400 p.
- OJIMA, A. L. R (autor); YAMAKAMI, A.(orient.). **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática**. 2004. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP.
- OLIVEIRA, A. L. R, A logística do agronegócio: para além do “apagão logístico”. In: Buainain, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M. F. J.; NAVARRO, Z. (Org.). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. 1ed.Brasília: Embrapa, 2014, v. 1, p. 337-370.
- OLIVEIRA, A. L. R. (autor); SILVEIRA, J. M. F. J. (orient.). **O sistema logístico e os impactos da segregação dos grãos diferenciados = desafios para o agronegócio brasileiro**. 2011. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP.
- OLIVEIRA, A. L. R. O; SILVEIRA, J. M. J. F. **Avaliação do impacto das práticas de preservação da identidade na difusão de variedades de milho GM no Brasil. Relatório do Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB), 2011**. 58 pg. (mimeo).
- OLIVEIRA, A. L. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. O sistema logístico brasileiro e os impactos da segregação dos grãos diferenciados: desafios para a competitividade do agronegócio. In: Di Leo, N.; Montico, S.; Nardón, G. (Org.). **Avances en Ingeniería Rural 2007-2009**. Rosário: UNR Editora, 2009, p. 1159-1168.
- OLIVEIRA, J. C. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Análise das alternativas de rotas disponíveis para a movimentação de grãos e farelos através da Hidrovia Tietê-Paraná**. *Economia Aplicada*, v. 1, n.4, p. 683-708, out./dez.1997.
- OLISZESKI, C.A; COLMENERO, J.C; KOVALESKI, J.L. **Desafio da inserção da pesquisa operacional em agroindústrias de pequeno porte**. *Congresso Internacional de Administração: Gestão Estratégica em Tempos de Mudanças*. Ponta Grossa /PR, 2009;
- OMOREGIE, E.M.; THOMSON, K.J. Measuring regional competitiveness in oilseeds production and processing in Nigeria: a spatial equilibrium modelling approach. **Agricultural Economics**. Vol. 24. Issue 3. P 281-294. Dez. 2001;
- PAES, M. C. D. . **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Circular Técnica Embrapa. Sete Lagos. Dezembro/2006. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_75.pdf
- RUTHERFORD, T. F. Extension of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v.19, p. 1299- 1324, 1995.
- RUTHERFORD, T. F. Mixed complementarity programming with gams. **Lecture Notes for Economy** 6433. 2002.
- SAMUELSON, P. B. Spatial price equilibrium and linear programing. **American Economic Review**, v.42, p. 283-303, 1952.
- SANDRONI, P. **Dicionário de economia do século XXI**. 4ª edição. Ed. Record. Rio de Janeiro, RJ. 2008.

SIFRECA – Sistema de Informações de Fretes. Disponível em: <http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca>. Último acesso em dezembro 2014.

Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal –SINDIRAÇÕES. **Boletim Informativo do Setor de Alimentação Animal. Maio, 2012.** Disponível em: http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2012/05/boletim_informativo_maio_2012.pdf;

SILVA, J. C. L. **A estratégia brasileira de privilegiar as rodovias ao invés das ferrovias.** Brasil Escola. Disponível em <http://www.brasilecola.com/geografia/por-que-brasil-adotou-utilizacao-das-rodovias-ao-inves-.htm>;

STALLER, J.; TYKOT, R; BENZ, B. (Ed.). **Histories of maize: multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize.** Walnut Creek: Left Coast Press, 2006.

TAKAYAMA, T.; JUDGE, G.G. **Spatial and Temporal Price and Allocation Models.** Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1971;

THORE, S. **Economic logistics: the optimization of spatial and sectoral resource, production and distribution systems.** New York: Westport: London: Quorum Books, 1992;

USDA – United States Department of Agriculture. Disponível em <http://www.usdabrazil.org.br/home/>;

VON OPPEN, M. e SCOTT, J. T. A spatial equilibrium model for plant location and interregional trade. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 58, n. 3, 1976, p. 437-445.

WANKE, P.; FLEURY P. F. Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. In: NEGRI, J. A.; KUBOTA, L. C. (Orgs). **Estrutura e dinâmica do setor de serviços no Brasil.** Brasília: IPEA, 2006. p. 409-464.

WAQUIL, P. D.; COX, T. L. **Spatial equilibrium with intermediate products: implementation and validation in the MERCOSUL.** Agricultural Economics, Staff Paper Series, issue 388, 1995.

YANG C. W.; HWANG M. J.; SOHNG S. N. The Cournot competition in the spatial equilibrium model. **Energy Economics**, Amsterdam, vol. 24, p.139-154, 2002.

ANEXO A

Quadro 8: Descrição das regiões de oferta e demanda consideradas no Modelo.

Regiões	Descrições	Classificação
SC	Estado de Santa Catarina	Região de demanda doméstica
RS	Estado de Rio Grande do Sul	Região de demanda doméstica
PR	Estado do Paraná	Região de oferta
MG	Estado de Minas Gerais	Região de oferta
SP	Estado de São Paulo	Região de oferta
GO	Estado de Goiás	Região de oferta
MS	Estado do Mato Grosso do Sul	Região de oferta
MT - N	Norte do Estado do Mato Grosso	Região de oferta
MT - SE	Sudeste do Estado do Mato Grosso	Região de oferta
Irã		Região de demanda internacional
Japão		Região de demanda internacional
Coreia do Sul		Região de demanda internacional
Taiwan (China)		Região de demanda internacional

Quadro 9: Descrição das rotas consideradas no Modelo

Rota	Descrição		
	Destino	Modais de Transporte	Ponto de Transbordo
R1	RS demanda	Rodoviário	
R2	SC demanda	Rodoviário	
R3	Porto de Santos	Rodoviário	
R4	Porto de Paranaguá	Rodoviário	
R5	Porto de São Francisco	Rodoviário	
R6	Porto Rio Grande	Rodoviário	
R7	Porto de Santos	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de Rondonópolis
R8	Porto de Santos	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de São Simão
R9	Porto de Vitória	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de Araguari
R10	Porto de Paranaguá	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de Maringá
R11	Porto de São Francisco	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de Maringá
R12	Porto de Rio Grande	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de Cruz Alta
R13	Porto de Santarém	Rodohidroviário	Porto hidroviário de Porto Velho
R14	Porto de Vila do Conde	Rodohidroviário	Porto hidroviário de Miritituba
R15	Porto de Itaquí	Rodoferroviário	Terminal ferroviário de Uruaçu

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de pesquisa.