

## OTIMIZAÇÃO DA REDE DE FLUXO DOS GRÃOS DE SOJA DO VETOR LOGÍSTICO CENTRO-SUDESTE BRASILEIRO PARA EXPORTAÇÃO

### FLOW NETWORK OPTIMIZATION OF SOYBEAN FROM BRAZILIAN CENTER-SOUTHEAST LOGISTIC VECTOR FOR EXPORTATION

Dermeval Martins Borges Junior<sup>1</sup>

Kleber Carlos Ribeiro Pinto<sup>2</sup>

#### RESUMO

Este trabalho recorre ao recurso da programação linear para encontrar a rede de fluxo de custo mínimo para a soja produzida e exportada através do Vetor Logístico Centro-Sudeste que conta com os portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul. Foram tratados os dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de 2014 e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior do ano de 2015 sobre a produção e a exportação do grão e foram analisadas diferentes opções de modais de transporte. A rede logística consta de 47 origens, 3 destinos e 10 possibilidades de modais e ou combinações entre eles. Foi elaborado um modelo de programação linear e utilizada a Linguagem de Modelagem GAMS. A solução ótima do problema indicou uma grande participação do modal rodoviário para o deslocamento dos grãos aos portos e o transporte multimodal se mostrou fundamental para o escoamento da soja produzida nas regiões mais interioranas. O porto de Santos foi indicado para a absorção de toda a soja produzida na região do Triângulo Mineiro, Sudoeste de Minas Gerais, Sul de Goiás, estado de São Paulo e boa parte do estado do Mato Grosso do Sul. O porto de Paranaguá foi apontado como o principal destino para atender a produção do norte do Paraná.

**Palavras-chave:** Custo de Transporte. Logística da Soja. Programação Linear.

#### ABSTRACT

For this study it was used linear programming resource to find the minimum cost flow network for soybeans produced and exported through the Center-Southeast Logistic Vector within Santos, Paranaguá and São Francisco do Sul ports. Official data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics of 2014 were used as well as data from the Ministry of Development, Industry and Foreign Trade of 2015 about grain production and exportation. Also, different transport modalities were analyzed. Logistic network consists of 47 origins, 3 destinations and 10 modal possibilities and/or combinations among them. A linear programming optimization model was developed in GAMS Modeling Language. Optimum solution of the problem indicated a great participation of road modal for grain transportation to the ports and multimodal transport was fundamental for the flow of soybean produced in inland regions. Santos port was indicated for the absorption of all the soybeans produced in the Triângulo Mineiro region, Southwest of Minas Gerais state, South of Goiás state, São Paulo state and much of Mato Grosso do Sul state. Paranaguá Port was designated as the main destination to receive the production from the Northern of Paraná state.

**Key words:** Transportation Costs. Soybean Logistics. Linear Programming.

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal de Uberlândia na linha de Gestão Financeira e Controladoria. E-mail. dermevaljr14@gmail.com

<sup>2</sup> Professor na Faculdade de Gestão e Negócios da Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38408-100.

## **1 INTRODUÇÃO**

A produção e exportação de grãos brasileiros, especificamente da soja, vêm crescendo radicalmente ao longo dos anos. No ano de 2015, conforme aponta estudo realizado pela Federação das Indústrias do estado de São Paulo - Fiesp por meio de seu Departamento de Relações Internacionais e Comércio Exterior – Derex (2015), as exportações de soja, em termos monetários, corresponderam a aproximadamente 12,6% do total exportado. A produção na safra 2015/16, segundo o levantamento realizado em novembro de 2015 pela Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2015), foi estimada em aproximadamente 102 milhões de toneladas.

Apesar do cenário favorável descrito, para que o nível de competitividade dos produtos agrícolas brasileiros cresça perante o comércio exterior é preciso que os processos envolvidos, desde a produção até o despacho pelos portos, sejam eficientes; daí a importância que o sistema de transporte tem para a economia do país. Uma boa gestão de transportes é fundamental para tornar os produtos mais competitivos, uma vez que esses custos são considerados os maiores dos custos logísticos, tendo grande impacto no preço final do produto (CAPACLE; RAMOS, 2008).

O transporte da soja em grão para a exportação constitui-se em um dos principais desafios da logística nacional. O seu deslocamento desde as regiões produtoras no interior do Brasil até os portos representa um obstáculo para a sua competitividade no mercado internacional. O fluxo entre o interior do país e os portos marítimos para a exportação ainda é feito principalmente pelo modal rodoviário, com custos variáveis mais elevados que o ferroviário e o hidroviário (PONTES; CARMO; PORTO, 2009; LAVORENTE, 2011).

A soja brasileira é produzida no campo com elevada produtividade e baixo custo, mas para chegar aos portos, precisa passar por uma rede logística ineficiente e cara. São poucas as alternativas dos modais ferroviário e hidroviário e a necessidade de passar pelo transporte rodoviário através de rodovias raramente bem conservadas, provoca perdas de grãos (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011; SOUZA; MARKOSKI, 2012; SILVA; MARUJO, 2012).

Dada a sua representatividade no cenário nacional, este trabalho considera o conjunto das regiões sob a influência do Vetor Centro-Sudeste, que engloba a totalidade dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, o Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais, o sul de Goiás, o sul do Mato Grosso e norte do Paraná, conforme delinea o Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT do Ministério dos Transportes (2007), que produziu em 2014, 50,44% da soja do país, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014).

No ano de 2015, o Brasil exportou aproximadamente 54,3 milhões de toneladas de soja em grãos, o equivalente em termos monetários a 21 bilhões de dólares, conforme indicam os dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC (2015). Os principais portos para o despacho da soja produzida na região Centro-Sudeste são os de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul, que juntos foram responsáveis por aproximadamente 48,17% de toda a exportação da oleaginosa no ano de 2015.

Em função da relevância do impacto dos custos logísticos na competitividade brasileira no agronegócio e a importância da soja para a economia do país, este trabalho busca responder a seguinte questão: quais alternativas de modais de transporte devem ser utilizadas na região geográfica sob a influência do Vetor Centro-Sudeste, de maneira a minimizar o custo global da rede de fluxo da soja para a exportação através dos portos marítimos correspondentes?

O objetivo geral deste estudo é examinar o fluxo das exportações da soja do ano de 2014 desde as regiões produtoras no Vetor Centro-Sudeste até os portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul, contemplando alternativas de transporte que considerem as disponibilidades dos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e transporte multimodal e propor uma rede de fluxo de custo mínimo.

Os objetivos específicos deste trabalho foram: i) revisar trabalhos acadêmicos relacionados principalmente à logística de exportação de commodities e ao uso da programação linear como instrumento de otimização; ii) levantar dados secundários de órgãos governamentais e de instituições de pesquisa referentes à produção e exportação da soja brasileira, custo de transporte e a capacidade dos modais; iii) elaborar o modelo matemático representativo do problema de fluxo logístico da soja na forma de um problema de programação linear; iv) utilizar a Linguagem de Modelagem GAMS para buscar a solução ótima do problema; v) analisar os resultados obtidos e indicar a rede de fluxo de custo mínimo.

Tendo em vista o cenário de elevação da produção e do consumo mundial de soja, conforme indicam as projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2011), as exportações brasileiras do grão tendem a continuar crescendo. Embora isso seja positivo, pois impacta no aumento da participação brasileira nas exportações mundiais, no aumento da participação das exportações na composição do PIB nacional e no aumento das reservas cambiais, conforme destaca Fleury (2004), também expõe certas fragilidades, como baixa capacidade de ferrovias, condições precárias das rodovias, ineficiência dos portos e diversos outros fatores similares que ocasionam filas e longas esperas, comprometendo o cumprimento dos prazos de entrega ao exterior.

A competitividade dessa commodity no mercado mundial requer que a rede de fluxo de carga rodoviária, ferroviária ou hidroviária seja otimizada, a fim de aproveitar ao máximo o que a infraestrutura existente e a ser implantada tem a oferecer. Assim, identificar a rede de fluxo de custo mínimo, contribui para o processo de tomada de decisão dos governos e dos agentes econômicos responsáveis pela exportação, possibilitando formulações de políticas públicas no setor de transporte.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Neste trabalho, para encontrar a rede de fluxo de custo mínimo da soja para a exportação, foi empregado o sistema GAMS (General Algebraic Modeling System), proposto por Brooke e outros (1992) para dar solução ao problema de programação linear devidamente modelado para o caso. A coleta de dados secundários tem origem no relatório da Pesquisa de Produção Agrícola Municipal de 2014 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2014), donde foram obtidas as quantidades de soja produzidas por município, e no Sistema Alice do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC (2015), donde foram obtidas as quantidades exportadas, por estado e por porto, no ano de 2015.

Foram contempladas no estudo, as regiões produtoras que estão sob a influência do Vetor Centro-Sudeste proposto no Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT do Ministério dos Transportes (2007), que corresponde à totalidade dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás, sul do Mato Grosso e norte do Paraná e os portos de: Santos (SP), São Francisco do Sul (SC), Paranaguá (PR). Os 806 municípios produtores desse vetor foram agrupados em centroides que representam uma agregação de municípios próximos suficientes para ajuntar em torno de meio milhão de toneladas de grãos anualmente, o que gerou 47 centroides.

O custo de transporte foi representado pelo frete cobrado entre os centroides e os portos por meio dos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e suas respectivas combinações. Assim para calcular os valores dos fretes foram utilizadas as estimativas de frete em reais por tonelada de soja a cada quilômetro percorrido (R\$/t.km) nos diversos modais e ou combinações, oferecidas pelo Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina em relatório da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2013). Para compor o cálculo dos fretes, foram consideradas: as distâncias entre os centroides e os portos, através do site Google Maps (2014) no caso de rodovias; a Pesquisa de Ferrovias da

Confederação Nacional do Transporte - CNT (2011) no caso de ferrovias, e; o relatório de Transporte de Cargas na Hidrovia Paraná-Tietê 2010 da ANTAQ (2010) no caso das hidrovias.

Foi considerado que as exportações procedem dois meses após a colheita do grão, em razão das operações de transporte entre o campo e armazenagem local, secagem, armazenagem do grão seco e deslocamento até o porto. Assim, como a produção ocorre nos meses de março, abril e maio, o período crítico (de pico) das exportações de soja no ano de 2015 ocorreu nos meses de maio, junho e julho, o que também serviu para delimitar a capacidade dos modais de transporte no período de três meses.

O perfil do problema de programação linear deste caso corresponde a um problema de transporte, o qual visa o custo mínimo para a rede – 47 centroides e 3 portos, onde as variáveis de decisão representam as quantidades a serem alocadas nos trechos que ligam os centroides aos portos, durante o trimestre principal de exportações (maio a julho), considerando os diferentes modais e ou combinações.

A função objetivo do problema representa o custo total da rede, que deve ser minimizada:

$$Z = \sum_{i=1}^{47} \sum_{(jk)=1}^{10} C_{i,(jk)} \cdot X_{i,(jk)} \rightarrow Min! \quad (1)$$

Sendo:

$Z$  = o custo total da rede de fluxo da soja para a exportação;

$i$  = representa as origens produtoras, que varia de 1 a 47 (centroides);

$jk$  = varia de 1 a 10 e representa os modais e ou combinações possíveis para os 3 portos;

$C_{i,(jk)}$  = o custo de transportar uma tonelada de soja entre a origem ( $i$ ) e o porto ( $j$ ) pelo modal e ou combinação de modal ( $k$ ), com notação ( $jk$ );

$X_{i,(jk)}$  = a quantidade em toneladas a serem transportadas entre a origem ( $i$ ) e o porto ( $j$ ) pelo modal e ou combinação de modal ( $k$ ), com notação ( $jk$ ).

As restrições de oferta do modelo indicam que a soma das quantidades produzidas em cada uma das origens e destinadas aos portos não podem ser maior que a produção total da região produtora:

$$\sum_{(jk)=1}^{10} X_{i,(jk)} \leq a_i \quad (2)$$

Sendo:

$X_{i,(jk)}$  = a quantidade, em tonelada, a ser transportada entre a origem ( $i$ ) e o porto ( $j$ ) pelo modal e ou combinação de modal ( $k$ ), com notação ( $jk$ ).

$a_i$  = produção de soja em tonelada em determinada origem - centroide ( $i$ ).

As restrições de demanda do modelo indicam que a soma das quantidades produzidas em cada origem e destinadas a um dos portos em particular, através de uma combinação de modais precisa atender à respectiva demanda:

$$\sum_{i=1}^{47} X_{i,(jk)} \geq b_{(jk)} \quad (3)$$

Sendo:

$X_{i,(jk)}$  = quantidade, em toneladas, a serem transportadas entre a origem ( $i$ ) e o porto ( $j$ ) pelo modal e ou combinação de modal ( $k$ ), com notação ( $jk$ ).

$b_{(jk)}$  = quantidade demandada, em toneladas, em determinado porto ( $j$ ) pelo modal e ou combinação de modal ( $k$ ), com notação por ( $jk$ ).

No modelo matemático, as origens ( $i$ ) representam a produção dos centroides em 2014, a partir da compilação de dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), resultando em quarenta e sete pontos geográficos. Quanto aos destinos ( $j$ ) vinculados aos modais e ou combinações ( $k$ ), com notação ( $jk$ ), as quantidades seguem as respectivas exportações do trimestre crítico através dos portos analisados, observadas as capacidades dos modais e ou combinações de modal. Os dados referentes à exportação da soja disponibilizados pelo MDIC (2015) correspondem a cada unidade federativa, mas para chegar aos números por centroides, foram usadas as proporções das exportações por município do MDIC (2015) ponderadas à produção indicada pela Pesquisa de Produção Municipal do IBGE (2014).

Para cada modal de transporte ou combinação de modais ( $k$ ), foi necessário determinar o respectivo limite de capacidade de transporte: (1) no caso do modal ferroviário, foram

consideradas como limites, as quantidades movimentadas de soja apontadas em CNT (2013) em cada par de origem destino; (2) as capacidades das hidrovias foram determinadas pelos volumes de soja indicados no estudo da Agência Nacional de Transporte Aquaviário – ANTAQ (2013), e; (3) A capacidade do modal rodoviário foi definida como suficiente para completar toda a demanda requerida pelos portos de exportação, não representando limitação. No caso das combinações modais disponíveis, as quantidades destinadas aos portos de Paranaguá e São Francisco do Sul não admitem a possibilidade de transporte hidroviário em nenhuma das possíveis combinações de acesso entre regiões centroides e os portos, por isso as combinações modais são dez: Santos-rodoviário, Santos-ferroviário, Santos-rodo-ferroviário, Santos-rodo-hidro-ferroviário, Paranaguá-rodoviário, Paranaguá-ferroviário, Paranaguá-rodo-ferroviário, São Francisco-rodoviário, São Francisco-ferroviário e São Francisco-rodo-ferroviário.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir da resolução do modelo matemático, os resultados indicaram que o custo mínimo total da rede de fluxo do transporte da soja para a exportação é de aproximadamente R\$ 1,017 bilhão, sendo que atende toda a demanda dos portos. Como o volume da produção de soja nos centroides correspondeu aproximadamente a 23,3 milhões de toneladas no trimestre e as exportações do grão entre abril e junho foram de quase 14,1 milhões de toneladas, a diferença de 9,2 milhões de toneladas representa o excedente de produção em relação à exportação. Deste modo, caso ocorra determinado aumento na demanda de soja para a exportação, as regiões produtoras podem ainda atender ao mercado exterior sem ter que necessariamente aumentar sua produção. Em relação aos portos, não houve folga, já que todo o limite determinado pela restrição de demanda foi atendido.

O volume de exportação anual de soja em 2015 pelos portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul corresponde a 48,2% do total exportado nesse mesmo ano. Contudo, considerando apenas o período de pico, que representa o trimestre analisado neste trabalho, o volume de exportações equivale a 53,5% do total. Assim, as exportações pelos portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul são mais acentuadas no trimestre de pico em comparação ao ano todo.

Na região do Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais, a solução ótima indicou que toda a soja produzida no trimestre deve ter como destino o porto de Santos (TABELA 1), sendo que toda a produção do centroide de Uberlândia deve ser escoada pelo seu terminal

ferroviário, localizado na cidade de Araguari (MG), enquanto que cerca de 83% da soja de Unai deve ser deslocada com a combinação dos modais rodoviário e ferroviário para atingir o mesmo destino. Os outros centroides de Minas Gerais, como Uberaba, Araxá, Patrocínio e o restante dos grãos de Unai, devem ter suas produções escoadas através das rodovias.

Tabela 1 – Quantidade de soja de Minas Gerais a ser despachada ao porto de Santos

<b>Centroide</b>	<b>Combinação/Modal</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
Araxá	Rodoviário	237.625	12,16%
Patrocínio	Rodoviário	220.655	11,29%
Uberaba	Rodoviário	291.565	14,92%
Uberlândia	Ferrovário	382.500	19,58%
Unai	Rodoviário	139.188,79	7,12%
	Rodo-ferroviário	682.424,20	34,93%
<b>Total</b>		<b>1.953.958</b>	<b>100,00%</b>

No estado de São Paulo, o total da produção de soja também deve ter como destino o porto de Santos (TABELA 2). Os centroides de Araçatuba, Araraquara, Assis, Bauru, Campinas, Itapetininga, Limeira, Presidente Prudente, São Joaquim da Barra e São José do Rio Preto devem movimentar suas produções por meio do modal rodoviário para o escoamento da produção até o referido porto.

Tabela 2 – Quantidade de soja de São Paulo a ser despachada ao porto de Santos

<b>Centroide</b>	<b>Combinação/Modal</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
Araçatuba	Rodoviário	51.816	4,72%
Araraquara	Rodoviário	7.984	0,73%
Assis	Rodoviário	277.398	25,29%
Bauru	Rodoviário	46.918	4,28%
Campinas	Rodoviário	13.578	1,24%
Itapetininga	Rodoviário	419.865	38,28%
Limeira	Rodoviário	5.583	0,51%
Presidente Prudente	Rodoviário	43.015	3,92%
São Joaquim da Barra	Rodoviário	207.728	18,94%
São José do Rio Preto	Rodoviário	22.871	2,09%
<b>Total</b>		<b>1.096.756</b>	<b>100,00%</b>

Parte da soja produzida na região sul do Mato Grosso também teve como destino indicado, o porto de Santos (TABELA 3). Para o total dos grãos produzidos em Cuiabá, a proposta apontada foi a combinação dos modais rodoviário, hidroviário e ferroviário para chegar ao porto em questão. O modal rodoviário foi indicado para o transporte até Santos de toda a produção de Alto Araguaia. O restante da soja do Mato Grosso, incluindo a dos



centroides de Primavera do Leste, Rondonópolis, Sorriso, Nova Maringá e Campo Novo do Parecis, os quais foram considerados na simulação matemática, não foi absorvido pelos portos apreciados neste trabalho, provavelmente devido à restrição de capacidade de exportação dos portos analisados no trimestre considerado e os elevados custos para o transporte a partir dessas regiões.

Tabela 3 – Quantidade de soja do Mato Grosso a ser despachada ao porto de Santos

<b>Centroide</b>	<b>Combinação/Modal</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
Alto Araguaia	Rodoviário	299.402	80,62%
Cuiabá	Rodo-hidro-ferroviário	71.990	19,38%
<b>Total</b>		<b>371.392</b>	<b>100,00%</b>

Quanto ao estado de Mato Grosso do Sul, a otimização do problema indicou que todos os grãos originários de Cassilândia e quase 72% de Dourados devem ser escoados através do modal rodoviário até o porto de Santos (TABELA 4). As sojas de Três Lagoas e cerca de 65% de Campo Grande também devem ser totalmente destinadas a Santos, porém exclusivamente por meio do modal ferroviário. O porto de São Francisco do Sul (SC) foi apontado como destino da totalidade da produção da região de Iguatemi e do restante da soja de Campo Grande e Dourados, pelo modal rodoviário. Vale ressaltar que, tal como ocorreu com alguns centroides de Mato Grosso, a produção da região de Sonora (MS) e parte de Dourados também não foi contemplada por nenhum dos portos considerados neste estudo.

Tabela 4 – Quantidade de soja do Mato Grosso do Sul a ser despachada aos portos

<b>Centroide</b>	<b>Combinação/Modal</b>	<b>Porto</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
Campo Grande	Ferrovário	Santos	389.134	13,37%
	Rodoviário	São Francisco do Sul	211.210	7,26%
Cassilândia	Rodoviário	Santos	308.139	10,59%
Três Lagoas	Ferrovário	Santos	14.782	0,51%
Dourados	Rodoviário	Santos	1.210.516,23	41,59%
	Rodoviário	São Francisco do Sul	471.764,22	16,21%
Iguatemi	Rodoviário	São Francisco do Sul	304.804	10,47%
<b>Total</b>			<b>2.910.349,45</b>	<b>100,00%</b>

Os resultados da otimização apontaram que a soja produzida na região sul de Goiás deve ser integralmente destinada ao porto de Santos (TABELA 5). Sendo que a produção de Catalão, Itumbiara e Goiânia deve ser transportada por meio da combinação entre os modais rodoviário e ferroviário. Para o escoamento da produção de Pires do Rio a movimentação indicada é exclusivamente pelas ferrovias. A soja de Rio Verde deve ser deslocada através de duas

alternativas, 71% via modal rodoviário, exclusivamente, e o remanescente via combinação rodovia, hidrovía e ferrovia.

Tabela 5 – Quantidade de soja de Goiás a ser despachada ao porto de Santos

Centroide	Combinação/Modal	Quantidade	%
Catalão	Rodo-ferroviário	453.232	12,90%
Itumbiara	Rodo-ferroviário	524.013	14,92%
Pires do Rio	Ferroviário	296.864	8,45%
Rio Verde	Rodoviário	1.230.113,69	35,01%
	Rodo-hidro-ferroviário	511.050,31	14,55%
Goiânia	Rodo-ferroviário	498.007	14,17%
<b>Total</b>		<b>3.513.280</b>	<b>100,00%</b>

A região que compreende o norte do Paraná tem mais de 45% de sua produção indicada para ser transportada apenas pelo modal rodoviário e com destino ao porto de Paranaguá (TABELA 6), o que corresponde à totalidade da produção de Curitiba, Guarapuava, Ponta Grossa, Prudentópolis, Telêmaco Borba e Wenceslau Braz, e ainda cerca de 63% de Cascavel e 52% de Goioerê. Toda a soja de Maringá e cerca de 70% da de Londrina também tiveram como destino o porto de Paranaguá, porém por meio exclusivo do modal ferroviário. Ainda para Paranaguá foi apontada 48% da soja de Goioerê e 68% de Campo Mourão, através da combinação entre rodovias e ferrovias. Com destino ao porto de São Francisco do Sul por meio do modal rodoviário, devem ser alocadas as produções dos centroides de Ivaiporã, 37% de Cascavel e 3% de Londrina. Ao mesmo porto ainda são indicados 27% dos grãos de Londrina pelo modal ferroviário e 32% de Campo Mourão pela combinação rodo-ferroviária. Toda a soja de Jacarezinho e Cornélio Procópio deve ter como destino o porto de Santos pelo modal rodoviário apenas.

Tabela 6 – Quantidade de soja do Paraná a ser despachada aos portos

Centroide	Combinação/Modal	Porto	Quantidade	%
Campo Mourão	Rodo-ferroviário	Paranaguá	425.030,73	10,01%
		São Francisco do Sul	199.918,27	4,71%
Cascavel	Rodoviário	Paranaguá	349.408,27	8,23%
		São Francisco do Sul	202.215,73	4,76%
Cornélio Procópio	Rodoviário	Santos	203.735	4,80%
Curitiba	Rodoviário	Paranaguá	45.160	1,06%
Goioerê	Rodoviário	Paranaguá	213.310,83	5,02%
	Rodo-ferroviário	Paranaguá	197.676,17	4,65%
Guarapuava	Rodoviário	Paranaguá	412.811	9,72%

Cont.

				<b>Cont.</b>
Ivaiporã	Rodoviário	São Francisco do Sul	289.772	6,82%
Jacarezinho	Rodoviário	Santos	40.321	0,95%
Londrina	Ferrovário	Paranaguá	219.796	5,17%
	Rodoviário	São Francisco do Sul	9.326,75	0,22%
	Ferrovário		85.679,25	2,02%
Maringá	Ferrovário	Paranaguá	442.456	10,42%
Ponta Grossa	Rodoviário	Paranaguá	415.692	9,79%
Prudentópolis	Rodoviário	Paranaguá	175.807	4,14%
Telêmaco Borba	Rodoviário	Paranaguá	220.833	5,20%
Wenceslau Braz	Rodoviário	Paranaguá	98.402	2,32%
<b>Total</b>			<b>4.247.351</b>	<b>100,00%</b>

Cabe observar a participação dos modais de transporte resultante da indicação do fluxo ótimo apontado pela solução do problema. Dos 14,1 milhões de toneladas exportadas no trimestre maio, junho e julho (base 2015), o resultado indica que a minimização global dos custos logísticos aponta, aproximadamente 8,7 milhões de toneladas sendo deslocadas para todos os três portos com o uso exclusivo de transporte rodoviário, quase 3 milhões de toneladas com o uso da combinação rodo-ferrovário, 0,58 milhões de toneladas com o uso da combinação de transporte rodo-hidro-ferrovário e 1,83 milhões de toneladas com o uso exclusivo do modal ferroviário.

Esses dados mostram que aproximadamente 61,7% de todo o volume exportado através dos portos chegam neles por uso exclusivo do transporte rodoviário e que 38,3% chegam com algum uso da alternativa ferroviária: combinado rodo-ferro, rodo-hidro-ferro e exclusivamente ferroviário. A participação referente à combinação rodo-hidro-ferrovário, surpreendentemente representa apenas 4,1% das quantidades deslocadas. Estima-se que esse número insignificativo perante o conjunto de alternativas de deslocamento sofre a restrição da capacidade do trecho hidroviário devido ao período da seca, que no Centro-Oeste brasileiro exerce forte impacto no mês de junho, um dos meses do trimestre, indicando que o transporte hidroviário, ainda que tenha um custo variável mais barato do que todas as opções, possui forte restrição quanto à operacionalização do transporte de produtos que precisam ser deslocados no período de seca, particularmente devido às baixas dos rios que impedem as barcaças ou chatas de se movimentarem na sua capacidade máxima, chegando até à interrupção total das operações.

#### **4 CONCLUSÕES**

Este trabalho indicou, por meio da elaboração de um modelo matemático resolvido pela técnica de programação linear, as quantidades de soja produzidas nas regiões sob influência do Vetor Centro-Sudeste a serem alocadas em combinações modais possíveis entre rodovias, ferrovias e hidrovias, de forma a atingir o custo mínimo de transporte até os portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul. Para tanto, foi realizada uma contextualização da literatura, envolvendo estudos importantes e recentes sobre o tema, com o intuito de adquirir uma compreensão mais acentuada sobre o assunto abordado, averiguando os conceitos fundamentais da programação linear, bem como as resoluções pelo método simplex e a linguagem de modelagem GAMS.

Os resultados mostraram que a totalidade da produção nas regiões do Triângulo Mineiro, sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás e o estado de São Paulo, bem como boa parte da soja do estado do Mato Grosso do Sul devem ter suas exportações através do porto de Santos. O porto de Paranaguá se mostrou fundamental para absorver a produção da soja oriunda do norte do Paraná. No que diz respeito à distribuição modal da rede de fluxo, o transporte rodoviário, na solução ótima, movimentaria 61,7% de toda a soja exportada no período analisado, devido à capacidade das ferrovias não ser suficiente para absorver as produções, e 38,3% chegariam aos portos com algum uso da alternativa ferroviária: combinando rodo-ferro, rodo-hidro-ferro e exclusivamente ferroviário.

As vantagens proporcionadas pelas possibilidades intermodais são preferidas no transporte de longas distâncias, a exemplo, o centroide de Cuiabá, que através da combinação dos modais rodoviário, hidroviário e ferroviário, foi indicado para escoar toda a sua produção até Santos. Contudo, o transporte hidroviário em períodos de seca tem sua capacidade reduzida e com isso as alternativas de transporte mais caras se tornam necessárias. Provavelmente, por isso, os centroides mais distantes dos portos estudados, como Primavera do Leste, Rondonópolis, Sorriso, Nova Maringá, Campo Novo do Parecis e Sonora, foram preteridos na solução do problema.

Entre as dificuldades encontradas neste trabalho destaca-se a carência das informações sobre as capacidades específicas dos modais de transporte em determinada malha ferroviária ou hidroviária. Diante dessa situação, a alternativa encontrada foi a utilização das quantidades de soja que chegaram aos portos no trimestre maio, junho e julho de 2015, segundo os modais possíveis. Outra restrição de dados foi referente às quantidades exportadas, disponibilizados

pelo MDIC (2015), que correspondiam a cada unidade federativa, e como a pesquisa demandava dados por centroides, foi necessário utilizar as proporções das quantidades produzidas dos centroides obtidos através da Pesquisa de Produção Agrícola Municipal do IBGE (2014) para, assim, estimar as participações das origens nas exportações.

A programação linear e a linguagem GAMS mostraram ser eficientes recursos para a análise de redes logísticas e podem ser replicadas para simular alterações na rede tratada neste trabalho, bem como para a aplicação a outros problemas de fluxo. Além disso, novas pesquisas correlatas podem considerar outros vetores e portos, outras regiões produtoras e commodities, por exemplo, o milho, que vem ganhando significativos espaços comerciais no mercado internacional.

## REFERÊNCIAS

ANTAQ. **Indicadores do transporte de cargas: tonelada útil transportada (t) e tonelada quilômetro útil (tku)**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2013.

\_\_\_\_\_. **Relatório Técnico: Plano Nacional de Integração Hidroviária**. Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

\_\_\_\_\_. **Transporte de Cargas na Hidrovia do Paraná-Tietê 2010**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2010.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **GAMS: a user's guide**. San Francisco: The Scientific Press, 1992.

CAPACLE, V. H.; RAMOS, P. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008.

CNT. **O sistema ferroviário brasileiro**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2013.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2011**. Confederação Nacional do Transporte. Brasília, 2011.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento, novembro 2015/ Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília, 2015.

DEREX. **Raio-X do comércio exterior brasileiro**. Departamento de Relações Internacionais e Comércio Exterior. São Paulo, 2015.

FLEURY, P. F. A **Infraestrutura e os Desafios Logísticos das Exportações Brasileiras**. Pesquisa Logística e Comércio Internacional – CEL/Coppead, 2004.

GOOGLE MAPS. **Como chegar**. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: out./nov. 2014.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro. **Embrapa Soja**. Londrina, 2011.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes 2014**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2014.

LAVORENTE, G. B. Caracterização das vias de exportação de soja do estado do Mato Grosso. **Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG**. Piracicaba, 2011.

MAPA. **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2011.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Relatório executivo**. Plano Nacional de Logística e Transportes – PNL, 2007.

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

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

SOUZA, D. F. de.; MARKOSKI, A. A competitividade logística do Brasil: um estudo com base na infraestrutura existente. **Revista de Administração**, v. 10, n. 17, p. 135-144, 2012.