

MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO PARA OTIMIZAR O ESCOAMENTO DA SOJA BRASILEIRA EXPORTADA À CHINA

Cleibson Aparecido Almeida*

João Cardoso Neto**

Robson Seleme***

Elaine Cristina da Silva Schilipack****

Vanessa Terezinha Alves*****

Resumo

O artigo apresenta modelagem matemática e simulação computacional para otimizar o escoamento da soja brasileira exportada para a China. São adotados o modal rodoviário, como meio de transporte entre o produtor da soja e o porto de escoamento; e, o marítimo, como meio de transporte entre o porto de escoamento e o destino da carga (Shangai, China). Os dados de produção foram obtidos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Outras informações foram coletadas no Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e as distâncias foram calculadas com o uso do aplicativo Google Maps. Os dados utilizados representam 50% do total de soja exportada para a China e cobrem as 20 maiores regiões produtoras de soja no Brasil.

* Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná; contato@cleibsonalmeida.blog.br

** Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná; joacardosoneto@gmail.com

*** Professor no Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná; robsonseleme@ufpr.br

**** Graduada em Estatística pela Universidade Federal do Paraná; elaineschilipack@bol.com.br

***** Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná; vanerotta@hotmail.com

A modelagem matemática foi feita com a adaptação do modelo de transbordo por meio dos portos de Santos, Paranaguá, Vitória, Rio Grande, Ilo (Peru), Arica (Chile), Antofagasta (Chile) e Valparaíso (Chile). Após a modelagem, foram realizadas simulações nas quais foram comparados os resultados obtidos após a modificação do parâmetro de capacidade portuária. A comparação foi realizada com base no custo operacional logístico em três diferentes cenários de limitação da capacidade portuária. Concluiu-se que há a necessidade de realizar melhorias que visem à ampliação dos portos brasileiros e considerar os portos peruanos e chilenos como uma rota alternativa. Palavras-chave: Logística. China. Soja. Portos. Simulação.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 15 anos, poucos países cresceram tanto no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil. O país é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, liderando o *ranking* mundial em produtos como café, açúcar, etanol e suco de laranja, além de ocupar o segundo lugar no faturamento com as vendas externas do complexo de soja (grão, farelo e óleo).

No início de 2010, um em cada quatro produtos do agronegócio em circulação no mundo eram brasileiros. Segundo projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011) até 2030 um terço dos produtos comercializados no mundo será do Brasil, em razão da crescente demanda dos países asiáticos.

Com o crescimento vertiginoso das economias asiáticas nas três últimas décadas, em especial da chinesa, a travessia do Oceano Atlântico já não é unanimidade como rota logística para as exportações brasileiras. Além disso, com a consolidação dos dados de comércio exterior de 2009, a República Popular da China passou

a ser a principal parceira comercial do Brasil, tomando um lugar mantido por 80 anos pelos Estados Unidos (OLIVEIRA, 2010).

Utilizar o Oceano Pacífico como alternativa para escoamento e abastecimento do mercado internacional é um sonho antigo e se tornou importante não somente pela crescente do mercado asiático, mas também pela importância em fortalecer parcerias, objetivando o crescimento regional de países da América do Sul.

A travessia das Cordilheiras dos Andes, cruzando países como Peru, Argentina e Chile, é uma das possibilidades para o escoamento da soja produzida por brasileiros e com destino à China. Com isso, existe a hipótese de que essas opções alternativas de rota podem reduzir os custos logísticos de muitos produtores de soja, já que a travessia marítima do pacífico garante seis dias a menos na viagem entre Brasil e China quando comparada com a mesma viagem feita via Oceano Atlântico (ALVES et al., 2010).

Dessa forma, o trabalho tem como objetivo simular algumas opções logísticas e apresentar as vantagens e desvantagens de cada uma, com base no custo operacional. Na revisão bibliográfica são apresentadas algumas características e dados da soja brasileira, os modais utilizados para o transporte, a questão do custo e a descrição das rotas utilizadas na simulação. Na metodologia são apresentados a origem dos dados, o processo de simulação e o modelo matemático utilizado para comparar as opções logísticas. Na parte de resultados e discussão são apresentadas as vantagens e desvantagens de cada opção baseadas no custo de transporte. Na última seção são apresentadas algumas considerações finais.

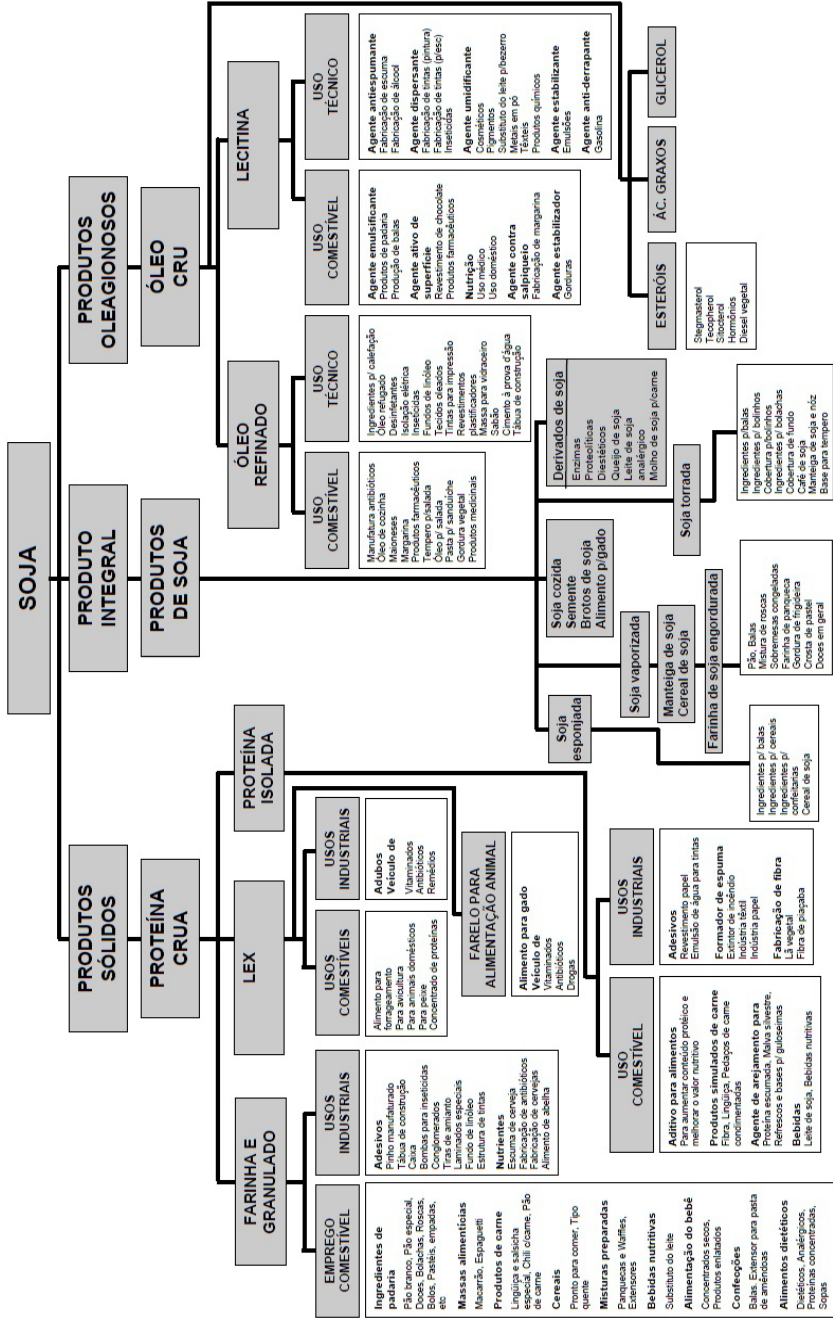
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A SOJA

A soja ou *Glycine Max Merr* (GÓES-FAVONI et al., 2004), segundo registros, teve sua origem na Costa Leste da Ásia e entre as oleaginosas; trata-se do principal produto do agronegócio internacional, em que somente os Estados Unidos, o Brasil e a Argentina foram responsáveis por 88,7% das exportações mundiais em 2010 (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2010). Segundo a Embrapa (2010), enquanto a Argentina exporta o produto com algum valor agregado (foco na alimentação humana), Brasil e Estados Unidos comercializam a soja na forma *in natura*, destinada à complementação de produtos alimentícios.

Dentro do contexto comercial, a soja é denominada “complexo da soja”, composto pelo grão, farelo, óleo de soja e seus derivados e que representa um dos principais itens da Balança Comercial Brasileira. O Organograma 1 exibe algumas características de cada um destes itens.

Organograma 1 – Características desagregadas do complexo da soja



Fonte: Paula e Favaret Filho (1998).

A soja é um grão muito versátil que origina produtos e subprodutos muito usados por agroindústrias, indústrias químicas e de alimentos. Quando destinada à alimentação humana, entra na composição de vários produtos embutidos, como chocolates, temperos para saladas, etc. A proteína da soja é a base de ingredientes de padaria, massas, produtos de carne, misturas preparadas, bebidas. Mas o seu uso mais notório é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto, do qual deriva a lecitina, um agente frequentemente utilizado na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros.

Em razão da variedade de opções e benéficos derivados, a soja tem um grande destaque no agronegócio brasileiro. O Brasil é o segundo maior produtor mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos; boa parte dessa produção é exportada. Além disso, a soja é fundamental na relação comercial entre o Brasil e a China. O país asiático é o principal comprador da soja nacional e somente no ano de 2010 a China foi responsável por aproximadamente 20 milhões de toneladas, representando 64,6% da exportação do grão de soja brasileiro e 51,8% do óleo de soja (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2011).

Dada a importância da China ao comércio mundial de soja, uma profunda compreensão do papel de demanda tem sido apresentada como indicador importante para os exportadores nos Estados Unidos, Brasil e Argentina. A literatura econômica centrada em projeções de demanda de soja para a China incluem conclusões de Taylor, Koo e Wang (2009) de que a China continuará a depender das importações para satisfazer sua necessidade interna.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE

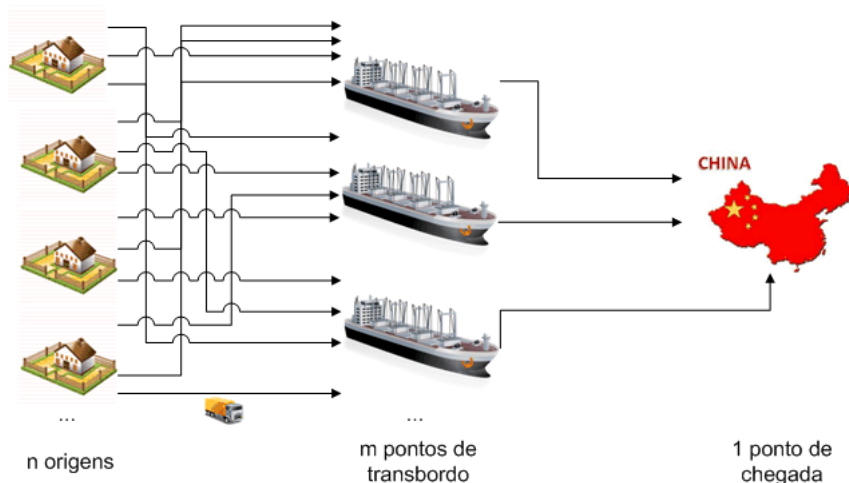
Segundo Chopra e Meindl (2003), transporte significa o movimento do produto de um local para outro, partindo do início da cadeia de suprimento e chegando até o cliente. O transporte exerce um papel fundamental em toda a cadeia de suprimento porque os produtos raramente são fabricados e consumidos no mesmo local. O sucesso de qualquer plano logístico está estreitamente ligado à boa utilização do transporte.

Ballou (2006) define que são cinco os modais de transporte que oferecem serviços diretos aos usuários: rodoviário, ferroviário, aéreo, aquaviário e dutoviário. Em relação às condições de operação, os modais podem ser caracterizados por cinco dimensões: velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência. Bowersox, Closs e Cooper (2006) resumem essas características da seguinte forma:

A velocidade refere-se ao tempo de uma movimentação. O transporte aéreo é o mais rápido. *A disponibilidade* refere-se à capacidade de um sistema em servir um determinado par de localidades. Os transportadores rodoviários têm a maior disponibilidade, uma vez que podem se dirigir diretamente aos pontos de origem e destino. *A confiabilidade* refere-se à variância potencial entre entregas programadas ou esperadas. Os dutos, devido ao serviço contínuo e a quase inexistente interferência do clima e dos congestionamentos, estão na posição mais alta da classificação em termos de confiabilidade. *A capacidade* é a habilidade de um sistema em lidar com qualquer exigência de transporte, por exemplo, o volume do carregamento. As hidrovias são as mais capacitadas nesse sentido. Quanto à *frequência*, está relacionada à quantidade de movimentações programadas. Os dutos, por seus serviços contínuos entre dois pontos, lideram essa classificação.

Uma característica comum em um processo de transporte para a exportação é o transbordo, ou seja, existe uma intermodalidade entre o ponto de origem e o destino da carga. No caso da soja brasileira, geralmente o transporte inicia com a utilização de caminhões seguindo até o ponto de transbordo, e, a partir disso é transportado por meio de navios até o seu destino final. O ponto de transbordo no transporte da soja é o porto, ou seja, o produto é levado de sua origem a um ponto de transbordo, e, finalmente, direcionado ao cliente (China) conforme o esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema básico para o transporte da soja com destino à China
ORIGEM DA CARGA PONTO DE TRANSBORDO PONTO DE CHEGADA



Fonte: os autores.

Em geral, o embarque e o transporte rodoviário de cargas agrícolas são feitos a granel, ou seja, aquela embarcada diretamente em caminhões e navios graneleiros, sem embalagem no produto. Apesar de suas limitações de armazenagem, os principais produtores e portos brasileiros estão estruturados com equipamentos que facilitam o manuseio desse tipo de carga (KEEDI, 2008).

2.3 CUSTOS DO TRANSPORTE

A logística de movimentação da soja se inicia com a coleta da produção por via rodoviária. De acordo com Correa e Ramos (2010), 25% da receita de vendas da produção de soja está comprometida com os custos de transporte. Para Naves (2009) 13% de cada safra da soja que é movimentada, é perdida em decorrência dos, à problemas logísticos, o que corresponde que a cada 7,7 anos é perdida uma safra inteira da oleaginosa.

Em relação aos custos de transporte, os modais podem ser classificados de acordo com seus custos diretos e indiretos, fixos e variáveis (NOVAES; ALVARENGA, 1994). Os custos diretos são aqueles que se relacionam diretamente com a função produtiva, alguns exemplos são depreciação do veículo, remuneração do capital, combustível, lubrificação, pneus e licenciamento. Os custos indiretos correspondem aos gastos com a contabilidade da empresa, o setor de pessoal e outros. Além disso, os custos diretos representam a maior parte dos gastos e são subdivididos em custos variáveis e fixos.

- a) Custos variáveis: combustível, lubrificação, manutenção, pneus e etc.;
- b) Custos fixos: depreciação, remuneração do capital, salários e obrigações do motorista e ajudantes e cobertura do risco.

Uma comparação financeira entre os modais pode ser visualizada no Quadro 1 Seleme (2011) sugere a adição de uma coluna considerando o preço para o usuário.

Quadro 1 – Características econômicas dos modais

Modal	Características econômicas		
	Custos variáveis	Custos fixos	Preço para usuário
Aéreo	Alto	Alto	Maior
Rodoviário	Médio	Baixo	Médio
Ferrovário	Baixo	Alto	Menor
Aquaviário	Baixo	Médio	Menor
Dutoviário	Baixo	Alto	Menor

Fonte: adaptado de Seleme (2011).

No trabalho de Correa e Ramos (2010) são inferidos dois principais custos logísticos relacionados ao principal modal utilizado para o escoamento da soja brasileira até o ponto de transbordo: o rodoviário. O primeiro está ligado à inadequação deste modal ao produto e às grandes distâncias percorridas, e o segundo, às más condições das estradas do país que foram afetadas pela escassez de recursos voltados à infraestrutura entre as décadas de 1980 e 1990.

Embora se saiba que os custos logísticos do modal rodoviário para grandes distâncias são altos, este é o predominante no transporte da soja brasileira. Com isso, os custos logísticos do Brasil são significativamente mais elevados do que seus principais concorrentes. Enquanto os transportadores estadunidenses operam, em sua maioria pelo modal aquaviário, utilizando barcaças, os argentinos utilizam o modal rodoviário, porém com uma grande diferença: as distâncias entre as propriedades rurais e os portos de escoamento da soja argentina são bem menores do que as brasileiras.

2.4 ROTAS UTILIZADAS

Nesta seção são apresentadas algumas peculiaridades que diferenciam o percurso realizado do polo produtor ao ponto de transbordo.

2.4.2 Portos de Santos, Paranaguá, Vitória e Rio Grande

De acordo com Camargo (2010) e Google (2011), o deslocamento dos polos produtores de soja brasileiros até os portos de Santos, Paranaguá, Vitória e Rio Grande é feito por intermédio de rodovias estaduais e federais. Em qualquer combinação entre os polos produtores e os portos existirá o pagamento de taxas de pedágio.

2.4.2 Portos de Valparaíso e Antofagasta

Valparaíso e Antofagasta são dois portos localizados na Costa do Pacífico, mais especificamente no Chile. A rota ideal para se chegar nesses dois pontos de transbordo passa por rodovias brasileiras até a cidade de Uruguaiana, RS. A partir desse trecho são utilizadas estradas argentinas, passando por cidades como Santa Fé, Villa Maria, Villa Mercedes, San Luis e Mendoza. Em seguida, é preciso completar o trajeto por estradas chilenas, ou seja, a travessia da Cordilheira dos Andes, e, assim, chegar em Antofagasta ou Valparaíso (GOOGLE, 2011).

2.4.3 Portos de Arica e Ilo

Arica é uma pitoresca cidade localizada na Costa do Chile e Ilo, por sua vez, é uma pequena cidade localizada na Costa do Peru. Estas duas cidades possuem portos que acessam direto o mercado Asiático; Ilo é um porto de grande interesse dos empresários brasileiros, em decorrência dos investimentos feitos na rota Transoceânica e também pela aproximação comercial que está sendo desenvolvida entre Peru e Brasil.

Para se chegar nestes dois portos há a necessidade de passar pelas cidades de Porto Velho (Rondônia) e Rio Branco (Acre). A

partir disso, o trajeto é feito em território peruano, por meio da recém-inaugurada Rodovia Transoceânica (GOOGLE, 2011).

Outra opção é a utilização de estradas bolivianas, que, por sua vez, oferecem uma menor distância a ser percorrida pelos caminhões; porém, essa alternativa não é considerada neste trabalho em razão das más condições dessas rodovias, citadas no trabalho realizado por Alves et al. (2010).

3 METODOLOGIA

3.1 DADOS DA PESQUISA

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados e informações sobre as regiões e municípios produtores de soja, quantidade de produção e exportação, distâncias e custos de fretes rodoviários e marítimos e capacidade dos portos envolvidos no estudo. A coleta de dados foi detalhada no trabalho de Almeida et al. (2011).

3.2 SIMULAÇÃO

Para Prado (2004), simulação é uma técnica que permite imitar um sistema real com o uso dos modernos recursos oferecidos pelos computadores. Esta técnica permite a visualização em tela dos resultados que serão obtidos em uma situação real. Ainda, de acordo com o autor, a simulação é uma ótima ferramenta para resolver problemas da área de transportes.

As principais justificativas para o uso da simulação estão ligadas, principalmente, à inviabilidade da interferência com o sistema real e a inexistência do sistema que se pretende estudar. Na prática, a simulação é iniciada com a modelagem do problema e,

em seguida, são feitas modificações nos dados e parâmetros desse modelo para observar o comportamento de alguma característica de interesse no estudo (TAHA, 2007).

3.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

Segundo Goldbarg e Luna (2005), um modelo não é igual à realidade, mas suficientemente similar para que as conclusões obtidas mediante sua análise e operação possam ser estendidas à realidade.

Problemas determinísticos que envolvem a distância entre origens e destinos geralmente são resolvidos com o uso do modelo do transporte. Este visa a minimizar o custo total necessário para abastecer “n” centros consumidores (destinos) a partir de “m” centros fornecedores (origens). As restrições do modelo são com base nas quantidades disponíveis, ou oferta de cada origem e quantidades requeridas ou demanda de cada destino (PUCCINI; PIZZOLATO, 1981).

Neste trabalho, o modelo do transporte utilizado é adaptado para a inclusão de um ponto intermediário, ou transbordo, entre a origem e o destino da soja.

O problema para o transporte da soja é formulado da seguinte forma:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{k=1}^o \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((c_{ij}d_{ij}) + cp_j + (cm_{jk}d_{jk})x_{ijk} \quad (1)$$

Sujeito às restrições de:

- Capacidade do porto:

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq K_j \quad \text{para } j = 1, \dots, m \quad (2)$$

• Demanda de produção:

$$\sum_{j=1}^m x_{ijk} \geq D_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (3)$$

• Condição de não negatividade:

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1 \quad (4)$$

Sendo:

n = Número de polos produtores de soja;

m = Número de portos de escoamento;

o = Número de portos de recebimento;

K_j = Capacidade do porto j ;

D_i = Quantidade de produção do polo produtor i ;

c_{ij} = Custo da operação logística do ponto i ao ponto j
(produtor i até o porto de escoamento j);

d_{ij} = Distância do produtor i ao porto j ;

cp_j = Custo portuário referente ao porto j ;

cm_{jk} = Custo da operação logística do ponto j ao cliente
(porto de escoamento j até o porto de recebimento k);

d_{jk} = Distância do porto j ao porto k ;

x_{ijk} = Quantidade embarcada do polo produtor i ao porto k ,
passando pelo porto de escoamento j ;

Z = Custo mínimo total da operação logística.

3.4 PADRÕES E SOFTWARES UTILIZADOS

Como realizado no artigo de Reis et al. (2008), neste trabalho também foi adotado que a época da colheita da soja é realizada durante quatro meses no ano. Assim, foi considerado que a quantidade exportada (mensal) é $\frac{1}{4}$ do valor total de exportações.

Nas simulações foram utilizados os *softwares* Lingo (versão 9.0) e o Microsoft Excel (versão 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CENÁRIO 1: UTILIZAÇÃO EXCLUSIVA DOS PORTOS LOCALIZADOS NO OCEANO ATLÂNTICO

Neste cenário foi simulado o envio da soja brasileira para a China com transbordo apenas nos portos brasileiros, ou seja, Santos, Paranaguá, Vitória e Rio Grande.

Na Tabela 1, pode ser observado que os portos de Santos e Vitória tiveram uma ocupação de 100%. Os portos de Paranaguá e Rio Grande se mostraram ociosos neste cenário, apresentando uma taxa de ocupação de 34 e 4%, respectivamente. A ociosidade do Porto de Rio Grande explica-se pela localização no Extremo Sul do Brasil, distante da maioria das cidades produtoras. Já o porto de Paranaguá se divide entre grande movimentação de exportações e também de importações, em que 52% de todo o fertilizante importado, vindo principalmente da China, chega por meio do porto de Paranaguá.

Além disso, o custo total para o transporte da soja produzida nas 20 cidades em estudo, partindo do polo produtor até a China, foi de aproximadamente 302 milhões de reais, sendo o custo médio por tonelada 262 reais.

Tabela 1 – Portos do Atlântico: resultados obtidos após a simulação (continua)

Origem	Santos	Paranaguá	Vitória	Rio Grande
Sorriso, MT	100%	0%	0%	0%
Nova Mutum, MT	0%	100%	0%	0%
Campo Novo do Parecis, MT	96%	4%	0%	0%

Origem	Santos	Paranaguá	Vitória	Rio Grande
Rio Verde, GO	0%	67%	33%	0%
Primavera do Leste, MT	100%	0%	0%	0%
Jataí, GO	0%	100%	0%	0%
São Desidério, BA	0%	0%	100%	0%
Maracaju, MS	0%	100%	0%	0%
São Gabriel do Oeste, MS	0%	100%	0%	0%
Tupanciretã, RS	0%	0%	0%	100%
Canarana, MT	0%	0%	100%	0%
Uberaba, MG	0%	0%	100%	0%
Cascavel, PR	0%	100%	0%	0%
Castro, PR	0%	100%	0%	0%
Cruz Alta, RS	0%	0%	0%	100%
Guarapuava, PR	0%	100%	0%	0%
Vilhena, RO	0%	100%	0%	0%
Londrina, PR	0%	100%	0%	0%
Guairá, SP	100%	0%	0%	0%
Cerejeiras, RO	100%	0%	0%	0%
Ocupação do porto	100%	34%	100%	4%

Fonte: os autores.

4.2 CENÁRIO 2: UTILIZAÇÃO EXCLUSIVA DOS PORTOS LOCALIZADOS NO OCEANO PACÍFICO

Neste segundo cenário foi simulado o envio da soja brasileira para a China com transbordo apenas nos portos localizados na Costa do Oceano Pacífico, ou seja, Ilo, Antofagasta, Valparaíso e Arica.

Na Tabela 2, pode ser observado que os portos de Ilo (Peru), Antofagasta (Chile) e Arica (Chile) tiveram uma ocupação de 100%. O porto de Valparaíso (Chile) se mostrou ocioso neste cenário, apresentando uma taxa de ocupação de 44%. Essa ociosidade de Valparaíso se explica pela maior distância rodoviária que deve ser percorrida desde o polo produtor de soja e também por ser o porto,

na Costa do Pacífico, mais distante do porto de Shangai, ressaltando que o custo rodoviário por tonelada é maior do que o custo marítimo por tonelada.

Além disso, o custo total para o transporte da soja produzida nas 20 cidades em estudo, partindo do polo produtor até a China, foi de aproximadamente 466 milhões de reais, sendo o custo médio por tonelada 405 reais.

Tabela 2 – Portos do Pacífico: resultados obtidos após a simulação

Origem	Ilo	Antofagasta	Valparaíso	Arica
Sorriso, MT	0%	0%	0%	100%
Nova Mutum, MT	31%	28%	17%	24%
Campo Novo do Parecis, MT	100%	0%	0%	0%
Rio Verde, GO	0%	0%	100%	0%
Primavera do Leste, MT	0%	100%	0%	0%
Jataí, GO	0%	0%	100%	0%
São Desidério, BA	0%	100%	0%	0%
Maracaju, MS	0%	100%	0%	0%
São Gabriel do Oeste, MS	0%	0%	100%	0%
Tupanciretã, RS	0%	0%	100%	0%
Canarana, MT	0%	0%	100%	0%
Uberaba, MG	0%	100%	0%	0%
Cascavel, PR	0%	100%	0%	0%
Castro, PR	0%	0%	100%	0%
Cruz Alta, RS	0%	0%	100%	0%
Guarapuava, PR	0%	0%	100%	0%
Vilhena, RO	100%	0%	0%	0%
Londrina, PR	0%	100%	0%	0%
Guairá, SP	0%	100%	0%	0%
Cerejeiras, RO	100%	0%	0%	0%
Ocupação do porto	100%	100%	44%	100%

Fonte: os autores.

4.3 CENÁRIO 3: UTILIZAÇÃO DE TODOS OS PORTOS ESTUDADOS

Nessa simulação foram utilizado todos os portos em estudo. Com isso, foi percebido que nenhuma das cidades produtoras de soja enviou sua exportação para os portos localizados no Chile, mostrando que não há vantagem financeira quando se comparam os portos de Arica, Antofagasta e Valparaíso com os demais portos estudados.

A Tabela 3 mostra a ocupação dos portos, com destaque para Santos e Vitória, que tiveram sua capacidade total ocupada, e para os portos de Rio Grande e Ilo (Peru) que tiveram uma grande ociosidade, ou seja, uma ocupação de apenas 4 e 10%, respectivamente.

Além disso, o custo total para o transporte da soja produzida nas 20 cidades em estudo, partindo do polo produtor até a China foi, de aproximadamente 302 milhões de reais, sendo o custo médio por tonelada 262 reais.

Tabela 3 – Resultados obtidos com a disponibilidade de todos os portos em estudo (continua)

Origem	Santos	Paranaguá	Vitória	Rio Grande	Ilo
Sorriso, MT	100%	0%	0%	0%	0%
Nova Mutum, MT	0%	100%	0%	0%	0%
Campo Novo do Parecis, MT	100%	0%	0%	0%	0%
Rio Verde, GO	0%	59%	41%	0%	0%
Primavera do Leste, MT	100%	0%	0%	0%	0%
Jataí, GO	0%	100%	0%	0%	0%
São Desidério, BA	0%	0%	100%	0%	0%
Maracaju, MS	0%	100%	0%	0%	0%
São Gabriel do Oeste, MS	0%	100%	0%	0%	0%
Tupanciretã, RS	0%	0%	0%	100%	0%
Canarana, MT	0%	0%	100%	0%	0%
Uberaba, MG	58%	0%	42%	0%	0%
Cascavel, PR	0%	100%	0%	0%	0%

Origem	Santos	Paranaguá	Vitória	Rio Grande	Ilo
Castro, PR	0%	100%	0%	0%	0%
Cruz Alta, RS	0%	0%	0%	100%	0%
Guarapuava, PR	0%	100%	0%	0%	0%
Vilhena, RO	0%	0%	0%	0%	100%
Londrina, PR	0%	100%	0%	0%	0%
Guairá, SP	100%	0%	0%	0%	0%
Cerejeiras, RO	0%	0%	0%	0%	100%
Ocupação do porto	100%	32%	100%	4%	10%

Fonte: os autores.

4.4 COMPARAÇÕES ENTRE OS CUSTOS NOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Na Tabela 4, observa-se que enquanto os cenários 1 e 3 tendem a manter um custo equilibrado perto da faixa dos 300 milhões de reais, o cenário 2 destoa totalmente dos outros dois, e, assim, eleva o custo total para um patamar de aproximadamente 164 milhões de reais a mais.

Isso mostra a inviabilidade financeira quando se pretende utilizar os portos chilenos para as mercadorias que partem do Brasil com destino à Ásia. Nesse caso, não há vantagem financeira em fazer uma viagem que dure menos dias e percorra uma menor distância marítima, pois o custo do transporte rodoviário torna inviável esse tipo de trajeto, ressaltando, é claro, que as viagens rodoviárias, partindo dos polos produtores de soja até os portos chilenos, são mais longas do que a mesma viagem até os portos brasileiros.

Tabela 4 – Custo em cada cenário proposto

	Custo médio de frete (R\$ t./km)	Custo total (20 municípios)
Cenário 1	R\$ 262,44	R\$ 302.381.840,79
Cenário 2	R\$ 405,22	R\$ 466.889.296,16
Cenário 3	R\$ 262,21	R\$ 302. 119.741,29

Fonte: os autores.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho destaca a importância da redução de custo nas operações logísticas utilizadas na exportação da soja brasileira, em especial o transporte e o escoamento da soja produzida por 20 municípios brasileiros e que correspondem a 50% das exportações nacionais com destino à China.

A menor distância total percorrida, nas simulações deste estudo, não refletiu em um menor custo operacional em razão do maior trajeto percorrido por caminhões ser justamente o percurso até o Chile. Assim, faz-se necessário destacar a importância dos investimentos brasileiros nos portos nacionais e também na intermodalidade com o uso de barcaças e composições ferroviárias. Sabendo-se que os custos comparativos de transporte para o produto escolhido refletem em um menor custo de transporte para o modal ferroviário, em detrimento do modal rodoviário predominante na matriz nacional, devem ser estimulados e realizados investimentos neste para uma substituição gradativa da operação logística.

Também é importante repensar as estruturas portuárias atuais no Brasil. Em situações de capacidade insuficiente para a armazenagem de grãos, o custo do transporte é altamente elevado, tornando a soja nacional menos competitiva no mercado internacional de exportações.

Um possível investimento para aumentar a capacidade do Porto de Santos, ou outro porto que seja próximo a Santos (São Paulo), como o de Paranaguá, é fundamental para iniciar a solução do velho problema das filas nas estradas brasileiras em épocas de colheita agrícola, com caminhões aguardando para desembarcar seus produtos no porto. Os investimentos podem ser realizados no aumento linear do cais para permitir um maior número de embarcações operando ao mesmo tempo, na melhoria nos equipamentos representados por esteiras transportadoras, melhoramento nas áreas de descarga e carga da soja, silos de armazenagem reguladores de demanda e na especialização da mão de obra necessária para a realização dessas atividades.

Outro fator que deve ser analisado e estudado com maior profundidade é a utilização do Porto de Ilo (Peru) como opção para o escoamento da exportação agrícola das cidades localizadas na Região Norte do Brasil, pois esta Região é a mais distante dos principais portos brasileiros, porém a mais próxima dos portos localizados na Costa do Pacífico.

Mais importante do que pensar pontualmente no custo, é pensar no investimento em infraestrutura rodoviária e portuária, pois a China continuará crescendo e precisará cada vez mais alimentar seu povo e produzir alimento para seus animais. A soja é importante não somente na matriz de exportações do Brasil, mas também para suprir a necessidade chinesa por alimentos.

Finalmente, há o desejo de expandir este estudo e avaliar o impacto logístico caso fossem consideradas todas as cidades brasileiras exportadoras de soja e o uso de outros modais.

***Mathematical modeling and simulation to optimize the flow of
brazilian soy exported to China***

Abstract

The paper presents mathematical modeling and computer simulation to optimize the Brazilian soybeans flow exported to China. The road transportation is adopted as a means of transportation between the soybean producer and seaport, and in a second step the cargo will be send from this seaport to final destination (Shanghai, China). Production data were obtained from the Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Other information were collected in the Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) and distances were calculated using the Google Maps application. The data represent 50% of the soybeans exported to China and cover 20 largest soybean producing regions in Brazil. The Mathematical modeling was done with the adaptation of the model transshipment through seaports of Santos, Paranaguá, Vitória, Rio Grande, Ilo (Peru), Arica (Chile), Antofagasta (Chile) and Valparaíso (Chile). After modeling, simulations were performed in which we compared the results obtained after swapping the parameter of seaport capacity. The comparison was based on logistic operating cost in three different scenarios of seaport capacity limitation. It was concluded that there is a need to make improvements aimed at expansion of seaports and consider the peruvian and chilean seaports as an alternative route.

Keywords: Logistics. China. Soybean. Ports. Simulation.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. et al. Comparação entre as alternativas portuárias utilizadas na exportação da soja brasileira com destino à China. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1., 2011, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2011.

ALVES, A. L. G. et al. **Saídas para o Pacífico**. Piracicaba: ESALQ – USP, 2010.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ Logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, D. D.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. Tradução Camila Teixeira Nakagawa. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CAMARGO, J. E. **Guia Quatro Rodas Estradas – A gente vai antes para você ir melhor**. São Paulo: Editora Abril, 2010.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. Tradução Claudia Freire. 9 reimp. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A. Precariedade do Transporte Rodoviário Brasileiro para o Escoamento da Produção de Soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. **RESR**, Piracicaba, v. 48, n. 2, p. 447-472, abr./jun. 2010.

EMBRAPA. **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. Londrina: Embrapa, 2010.

GÓES-FAVONI, S. P. de. et al. Isoflavonas em Produtos Comerciais de Soja. *Revista Ciência e Tecnologia Alimentar*, Campinas, p. 582-586, out./dez. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v24n4/a17v24n4.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2011.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. Otimização combinatória e programação Linear. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOOGLE. Google Maps. 2011. Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>. Acesso em: 3 set. 2011.

KEEDI, S. Transportes, Unitização e Seguros Internacionais de Carga: Prática e Exercícios. 4. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. AGROSTAT – Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro, 2011. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>>. Acesso em: 3 set. 2011.

NAVES, I. M. Companhia Nacional de Abastecimento. Agronegócio e Logística: Dicotomia, 2009. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=2&ved=0CC0QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.conab.gov.br%2FOlalaCMS%2Fuploads%2Farquivos%2F82db7583bb8bc046abd53e15459ec277.pdf&rct=j&q=ivo%20manoel%20naves&ei=FclmTuPTGs_pgAfpk928Cg&usq=AFQjCNF_J0HVgLYC8n0nvAz3>. Acesso em: 1 ago. 2011.

NOVAES, A. G. N.; ALVARENGA, A. C. Logística Aplicada – Suprimento e Distribuição Física. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1994.

OLIVEIRA, H. A. D. Brasil e China: Uma nova aliança não escrita? Revista Brasileira de Política Internacional, Brasília: DF, v. 53, n. 2, p. 88-106, 2010.

PAULA, S. R. de; FAVERET FILHO, P. Panorama do Complexo da Soja. Rio de Janeiro: BNDES, 1998. v. 8.

PRADO, D. Teoria das Filas e Simulação. 1. ed. Belo Horizonte: INDG, 2004. v. 2.

PUCCINI, A. D. L.; PIZZOLATO, N. D. **Programação Linear**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1981.

REIS, J. D. D. et al. Custo Ótimo de Transporte Rodoviário das Principais Regiões Produtoras de Soja aos Principais Portos do Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco, 2008.

SELEME, R. **Curso de Análise e Operações Logísticas**. Curitiba: UFPR, 2011.

SOUZA, M. O. D. et al. O complexo de soja: aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 56-86, jan./abr. 2010.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2007.

TAYLOR, R. D.; KOO, W. W.; WANG, L. **Expected changes in China's grain and oilseed industries and implications for the U.S. and world agriculture**. Center for Agricultural Policy and Trade Studies, North Dakota State University, 2009.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Statistical Data of Agriculture**. 2010. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

Recebido em 8 de setembro de 2012

Aceito em 9 de novembro de 2012

