

MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA USINA PRODUTORA DE BIODIESEL

Thaís Mazer Rodrigues
Roberto Fray da Silva
Luiz Eduardo Wilbert Andrade
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki
Carlos Eduardo Cugnasca
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

RESUMO

A exigência mundial por sustentabilidade levou ao desenvolvimento de combustíveis alternativos como o biodiesel. No Brasil, o óleo de soja corresponde a 70% da matéria-prima na produção deste, que é misturado posteriormente com o óleo diesel. Este artigo objetiva propor um modelo matemático de localização de usinas de processamento de biodiesel na região Centro-Oeste que utilizem óleo de soja como matéria-prima, visando atender o estado de São Paulo. Analisaram-se seis cenários de otimização: demandas atuais e futuras, considerando apenas uma unidade, e demanda futura com abertura de usinas em GO, MT e MS. Os outros cenários consideram o uso de modo ferroviário. Futuramente, serão feitas: consultas a agentes da cadeia; inclusão de outras matérias-primas; levantamento da capacidade atual de produção de biodiesel e moagem de soja; e inclusão de investimentos. A dificuldade na obtenção de dados de demanda de biodiesel e capacidades de produção das indústrias foram as principais limitações.

ABSTRACT

The global demand for sustainability is fostering the development of alternative fuels, such as biodiesel. In Brazil, soybean oil corresponds to 70% of the raw materials used to produce it. Afterwards, it is mixed with diesel oil. This paper's objective is to present a location model for biodiesel processing plants in Center-West region, utilizing soybean oil as raw material, to meet the demands of São Paulo state. Six scenarios were analyzed: current and future demands, considering just one plant, and future demand considering one plant in each of the states of the Center-West region. The other scenarios consider the use of railways. Next steps on this project are to gather input from the supply chain's agents; include other raw materials; gather information regarding the current biodiesel production and soybean crushing capacities; and include investments in plants. The main difficulties were to find data regarding biodiesel demand and plant's current capacities.

1. INTRODUÇÃO

Segundo os dados mais recentes da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2011), no ano de 2008, o Brasil foi o segundo maior produtor de soja do mundo, com uma produção de 59,83 milhões de toneladas. O primeiro e terceiro lugares na produção de soja mundial naquele ano foram, respectivamente, EUA e Argentina. A grande preocupação mundial com relação à redução de Gases causadores do Efeito Estufa (GEEs) levou ao desenvolvimento de uma série de combustíveis com base em produtos agrícolas, visando diminuir a quantidade de emissões destes poluentes.

Um destes combustíveis renováveis, de grande importância na substituição do óleo diesel, é o biodiesel. Atualmente, o óleo de soja é a matéria-prima mais utilizada na produção de biodiesel, representando 70% dos insumos utilizados na produção do biocombustível. Em 2009, foram consumidos cerca de 1,28 milhões de m³ de óleo de soja na produção de biodiesel no Brasil (ANP, 2011).

Uma série de países já utiliza o biodiesel como um combustível alternativo para sua frota de caminhões, como é o caso dos países da União Européia, com 5,6 milhões de m³ produzidos

em 2006 (Peri, 2008; ANP, 2011). Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural (ANP, 2011), o Brasil optou por adicionar uma quantidade de biodiesel no óleo diesel comercializado no país, visando diminuir a emissão de GEEs no setor de transportes. Atualmente, o biodiesel produzido não é suficiente para substituir o consumo de óleo diesel. A legislação que rege esta mistura entrou em vigor em janeiro de 2008, sendo que, inicialmente, o combustível comercializado deveria conter 2% de biodiesel. Atualmente, este valor é de 5% e, até 2013, estima-se que este valor deva aumentar até 7% (ANP, 2011).

O objetivo do presente artigo é apresentar um modelo matemático para auxiliar na determinação da melhor localização de uma usina de processamento de biodiesel, utilizando o óleo de soja como matéria-prima. Escolheu-se a região Centro-Oeste como possível origem desta unidade, devido ao menor custo da matéria-prima e à proximidade das unidades esmagadoras de soja. O principal objetivo desta unidade é suprir o aumento de demanda de produto devido ao aumento da mistura de 5% a 7% no óleo diesel.

Uma série de cenários foi estudada utilizando o modelo matemático proposto: a situação atual, com e sem uso de modo ferroviário; o aumento de demanda esperado, com e sem o uso de modo ferroviário; a abertura de apenas uma unidade que irá suprir todo o aumento de demanda; e a necessidade de abertura de uma unidade por estado da região Centro-Oeste.

2. A LOGÍSTICA E AS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Ballou (2004) e Bowersox et al. (2008) definem a logística como um processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações ao longo de todas as etapas que um produto ou serviço passa desde seu ponto de origem até o destino final. Segundo Daskin (1985), esta visa atender às demandas dos clientes com o menor custo possível, porém mantendo o nível de serviço desejado.

Chopra e Meindl (2010) citam que a logística é uma das partes importantes da chamada cadeia de suprimentos, que considera também as interações entre as diferentes etapas desde a produção até o consumo e a correta destinação final dos produtos, tratando cada etapa como elo de uma corrente. Esta abordagem visa obter não somente a otimização de um dos elos, mas da cadeia de suprimentos como um todo, diminuindo o custo total da mesma.

Caixeta Filho e Gameiro (2001), Caixeta Filho (2010) e Caixeta Filho et al. (1998) analisam diversas cadeias de suprimentos de produtos agrícolas no país, descrevendo as diferenças entre cada uma delas. Porém, pode-se observar uma série de características em comum dos produtos agrícolas: sua perecibilidade, sendo que estes perdem qualidade com o passar do tempo; seu baixo valor agregado, sendo que os custos logísticos impactam de forma significativa no preço do produto final, o que faz com as unidades de processamento se localizem perto da produção de matéria-prima, visando diminuir os custos logísticos; a pulverização das unidades produtoras de matéria-prima e a concentração de unidades de processamento; a exigência crescente por rastreabilidade; e a predominância de fluxos de exportação para certos produtos.

3. O BIODIESEL COMO UMA ALTERNATIVA AO DIESEL

Segundo Bartholomeu (2006), desconsideradas as emissões devido a mudanças no uso da terra e ao desmatamento de florestas, o setor de transportes representa, no Brasil, a maior emissão de GEEs do setor energético. Alternativas de transporte que aumentem sua eficiência energética, seja utilizando combustíveis menos poluentes ou modais alternativos com menores emissões destes poluentes, são essenciais para diminuir as emissões deste setor, contribuindo para a sustentabilidade do mesmo (BARTHOLOMEU, 2006; LUND, 2007).

Um estudo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico/Fórum Internacional do Transporte (OCDE/ITF, 2010) demonstra que o setor de transportes é responsável pela emissão de 23% do total de dióxido de carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis. Visando mitigar a quantidade emitida destes gases, outro estudo do mesmo órgão (OCDE, 2009) indica o uso de modais alternativos como o ferroviário na redução tanto de gastos com transportes quanto de emissões de GEEs.

Neste contexto, Silva, Bartholomeu e Caixeta Filho (2010) realizaram um estudo para estimar as emissões dos modais rodoviário e ferroviário no transporte de açúcar para exportação nos anos de 2006 a 2008, concluindo que houve uma redução significativa nas emissões de CO₂, devido ao uso do modo ferroviário, de cerca de 462.604 toneladas, em comparação ao modal rodoviário.

Como citado anteriormente, o uso de combustíveis alternativos, que emitam uma menor quantidade de GEEs, também é uma solução interessante para buscar a sustentabilidade nas cadeias de suprimentos de produtos agrícolas. Coronado et al (2009) analisa o uso de misturas de óleo diesel e biodiesel, observando uma redução significativa na emissão de CO₂. Segundo seus estudos, a mistura de biodiesel a 20% se comparada ao uso do diesel puro reduz em 15,66% as emissões de CO₂.

Uma análise realizada por Ma e Hanna (1999) demonstra que a produção de biodiesel envolve basicamente duas etapas: a extração do óleo vegetal e o processo de transesterificação, também chamado de alcoolize, originando ésteres e glicerol. O óleo de soja é proveniente de unidades esmagadoras de soja, e a produção de biodiesel ocorre nas chamadas usinas processadoras de biodiesel. É importante atentar para o fato de que estas tendem a se localizar perto das unidades moedoras de soja, visando diminuir o custo de transporte de matéria-prima.

Sarmiento (2010) cita que, ao final do ano de 2003, o Governo Federal insitiu uma Comissão Interministerial para elaborar ações referentes ao uso de óleos vegetais como fonte alternativa de energia e, em janeiro de 2005, por meio da Lei n 11.097, o biodiesel passou a fazer parte da matriz energética brasileira. Diferentemente de outros países, optou-se por não comercializar o biodiesel puro nos postos de combustíveis, e sim misturá-lo ao óleo diesel comercializado, nas bases distribuidoras. Porém, somente a partir de 2008 a ANP instituiu a obrigatoriedade da mistura ao óleo diesel comercializado com percentual mínimo de 2% (ANP, 2011). Em 2010, este valor aumentou para 5% (ANP, 2011).

4. A CADEIA DE SUPRIMENTOS DE BIODIESEL

Para caracterizar a cadeia de suprimentos de biodiesel, torna-se necessário analisar brevemente a cadeia da soja, que é intimamente ligada à deste produto. Os principais

produtores de soja de acordo com os dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009) foram: estados de Mato Grosso, correspondendo a 26% da produção nacional; Paraná, contribuindo com 21% da produção nacional; Rio Grande do Sul, com 18% da produção do país; Goiás, correspondendo a 7% do total produzido naquele ano; e Mato Grosso do Sul, responsável pela produção de 4% da soja produzida no Brasil no ano de 2006.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2011), no ano safra 2009/2010 foram processadas 35,7 milhões de toneladas de soja com destaque para a capacidade de processamento dos estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, como demonstra a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Capacidade de Processamento soja – valores em tonelada/dia

Estado	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2010/2009
Mato Grosso	21.000	21.400	22.000	24.800	29.300	36.600	20,7%
Paraná	32.115	32.950	33.850	35.150	34.150	35.645	20,2%
Rio Grande do Sul	21.200	23.600	24.800	25.800	28.500	30.400	17,2%
Goiás	18.150	18.800	19.650	19.250	20.050	20.950	11,8%
São Paulo	15.600	16.400	16.650	17.780	17.780	16.880	9,5%
Mato Grosso do Sul	8.295	9.360	9.560	9.575	12.725	10.225	5,8%

Fonte: ABIOVE, 2011

Como se pode observar na Tabela 1, apenas no estado do Mato Grosso, entre 2009 e 2010 houve um aumento de aproximadamente 21% na capacidade de processamento de soja, sendo que grandes obras de infraestrutura não foram realizadas neste estado no mesmo período visando facilitar o escoamento do produto. Isto confirma o fato citado por Soares (1997) que no Brasil a realidade no setor de transportes não é condizente com o ritmo de avanços no ambiente agroindustrial.

De acordo com Leiras et al. (2008), a soja é a melhor opção para a produção de biodiesel devido ao seu baixo custo de produção, da ordem de US\$ 1,15/litro, em comparação a outras matérias-primas, com valores de cerca de US\$ 1,28/litro. É importante ressaltar que o preço do biocombustível em questão está diretamente relacionado às variações dos custos para a produção de soja, além de seus dispêndios logísticos, tais como armazenagem e transporte (LEIRAS et al., 2008). A redução de quaisquer destes componentes tem grande potencial de impactar positivamente no aumento da competitividade do biodiesel brasileiro.

Carvalho (2008) cita que as distribuidoras pertencentes ao Sindicato Nacional das Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes (Sindicom) concentram a maior parte do mercado de combustíveis, sejam estes fósseis ou renováveis. No caso do estado de São Paulo, estas empresas representam mais de 80% do mercado de venda de óleo diesel desde o ano de 2003, sendo que em 2011 estas foram responsáveis por aproximadamente 88% das vendas do produto no estado (SINDICOM, 2011). É nestas distribuidoras que o biodiesel será misturado ao óleo diesel, para posterior comercialização.

Segundo informações da ANP (2011) no ano de 2010 o estado de São Paulo representou mais de 23% nas vendas de diesel (diesel + B100), sendo o maior consumidor deste combustível no

país. Em termos de volume este percentual representa aproximadamente 572.000 m³. Por esta razão, o presente artigo irá focar nos centros de demanda do estado de São Paulo.

5. O USO DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO NA OTIMIZAÇÃO DE CADEIAS

Ballou (2004), Chopra e Meindl (2010), Bowersox et al. (2008), Yoshizaki (2002) e Caixeta Filho (2010) indicam o uso de modelagem matemática para a minimização dos custos das cadeias de suprimentos, principalmente em casos complexos que envolvem opções de diferentes modais e diversas origens e destinos. Ojima e Yamakami (2006) elaboraram um modelo matemático para análise do escoamento da produção de soja, demonstrando que a modelagem matemática pode ser utilizada de forma eficiente para resolver os problemas decorrentes das cadeias de suprimentos agrícolas.

Os modelos de localização, de acordo com Daskin (1995), servem para a escolha dos melhores locais para a instalação de unidades, além de definições dos fluxos destas para os diferentes centros de demanda. Estes modelos consideram objetivos conflitantes, como custos de transporte, armazenamento, transbordo, oportunidade, processamento de pedidos, impostos, dentre outros, sendo que a proposta deve identificar os *tradeoffs* entre estes objetivos e minimizar o custo total do sistema (DASKIN, 1995; ZANBOM, 2005).

Leduc (2009) estudou as cadeias de biodiesel na Índia e propôs um modelo matemático de localização visando à minimização dos custos em três cenários, utilizando diferentes misturas ou *blends* de óleo diesel e biodiesel. Este estudo demonstrou que parâmetros como rendimento industrial, custo da matéria-prima, transporte e investimentos necessários influenciam na localização da instalação. A escolha da planta para diferentes cenários de *blends* apresentou pouca variação no custo do produto final e sugere que a decisão final pode ser feita em termos de emissão de poluentes. Este seria o caso, principalmente, do uso de modais alternativos de maior eficiência energética.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será feita a descrição do modelo matemático proposto e dos cenários a serem analisados. Segundo Cooper e Schindler (2001) e Vergara (2005), esta pesquisa pode ser caracterizada como exploratória e aplicada, pois visa estudar uma área na qual há pouco conhecimento disponível, utilizando-se de dados secundários e um estudo de caso.

A modelagem proposta visa determinar, a partir da localização de unidades de processamento de soja nos estados da região Centro-Oeste e os principais destinos dos combustíveis atualmente, a implantação de uma nova usina para produção de biodiesel que utilize óleo de soja como matéria-prima. Como descrito por Caixeta Filho e Gameiro (2001), as unidades de processamento de produtos agrícolas tendem a se localizar perto da produção de matéria-prima, visando diminuir os custos de transporte. Desta forma, as unidades de processamento de soja foram adotadas como as origens dos fluxos de biodiesel, pois isto minimizaria os custos de transporte da matéria-prima principal, o óleo de soja.

Atualmente, existem 17 unidades de processamento de soja na região Centro-Oeste. Estas unidades se localizam em Luziânia (GO), Rio Verde (GO), Jataí (GO), Itumbiara (GO), São

Simão (GO), Anápolis (GO), Ipameri (GO), Dourados (MS), Três Lagoas (MS), Campo Grande (MS), Rondonópolis (MT), Alto Araguaia (MT), Primavera do Leste (MT), Lucas do Rio Verde (MT), Nova Mutum (MT), Sorriso (MT) e Cuiabá (MT), e serão utilizadas como pontos de oferta de biodiesel (IMEA, 2011; PAULO, 2010; APROSOJA, 2011).

Os pontos de demanda de biocombustíveis são as bases de distribuição do estado de São Paulo: Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru, Ourinhos, Presidente Prudente, Araçatuba, Paulínia, São Paulo, Barueri, Santo André, São Caetano do Sul, São José dos Campos e Cubatão (SINDICOM, 2011).

A demanda por base distribuidora foi calculada da seguinte forma: segundo Moreira (1996), do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), é possível estimar com significativa precisão o consumo de óleo diesel em uma região utilizando o produto interno bruto (PIB) da mesma, aplicada a uma equação desenvolvida por este autor. Esta estimativa pode ser considerada uma fonte confiável de dados, pois os fatores que relacionados ao uso do óleo diesel como combustível podem ser medidos com base na utilização de máquinas agrícolas e equipamentos de transportes, e tal distribuição está ligada a atividade econômica no espaço (MOREIRA, 1996).

Baseado neste mesmo estudo), o modelo proposto considera o consumo de biodiesel do estado de São Paulo (dados obtidos pela ANP, 2011) e sua divisão entre os municípios paulistas onde estão localizadas as bases do Sindicom (SINDICOM, 2011) e o PIB destas cidades (CNM, 2011).

O modelo proposto foi utilizado para otimizar seis cenários diferentes, considerando variação de demanda, possibilidade de uso do modo ferroviário e necessidade de abertura de unidades em todos os estados da região Centro-Oeste. Os transbordos ferroviários foram escolhidos com base em dados fornecidos pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2010). Os cenários a serem analisados são:

- (C1) situação atual com demanda atual e sem uso de modo ferroviário
- (C2) aumento de demanda sem uso de modo ferroviário
- (C3) demanda atual com a possibilidade de uso de modo ferroviário
- (C4) aumento de demanda com a possibilidade de uso de modo ferroviário
- (C5) necessidade de abrir uma fábrica em cada estado da região Centro-Oeste, cada uma atendendo 1/3 do aumento da demanda, sem a possibilidade de uso do modo ferroviário
- (C6) necessidade de abrir uma fábrica em cada estado da região Centro-Oeste, cada uma atendendo 1/3 do aumento da demanda, com possibilidade de uso do modo ferroviário

Devido à inexistência de parâmetros para se estimar o fluxo no modo ferroviário, dado que atualmente este não é utilizado no transporte de biodiesel, os cenários que possibilitam o uso de transporte via modo ferroviário (C, E e F) possuem, cada um, seis sub-cenários, considerando que 5, 10, 20, 25, 50 ou 100% da demanda poderá ser transportada via ferrovia. A estes sub-cenários, deu-se as denominações de, respectivamente, 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Com relação aos fretes utilizados, estes podem ser divididos em ferroviários e rodoviários. Os fretes rodoviários foram calculados por faixas de distância com base nos dados do Anuário 2010 do Sistema de Informações de fretes (ESALQ-LOG, 2011). Os fretes ferroviários, por

sua vez, foram calculados com base nas tabelas tarifárias da ANTT (ANTT, 2002). O custo de transbordo foi calculado com base nos dados de transbordo de combustíveis da Transpetro (TRANSPETRO, 2011).

O modelo encontra-se descrito a seguir, na seguinte ordem: função objetivo, restrições aplicadas ao mesmo e descrição dos termos utilizados na descrição do mesmo.

Função Objetivo

$$Min = \sum_i \sum_i CT_{ij} D_{ij} X_{ij} + \sum_i \sum_k CT_{ik} D_{ik} X_{ik} + \sum_k \sum_j CT_{kj} D_{kj} X_{kj}$$

Restrições

1- Abertura da fábrica

$$\sum_i Y_{ir} = Qu_i \quad (1)$$

2- Quantidade máxima transportada por fluxo

$$\sum_i X_{ik} + \sum_i X_{ij} \leq Y_{ir} O_i \quad (2)$$

3- Balanceamento entre os fluxos de chegada e saída do transbordo

$$\begin{aligned} & \sum X_{ik} \\ &= \sum_j^k X_{kj} \end{aligned} \quad (3)$$

4- Somatório dos fluxos que chegam no destino

$$\begin{aligned} & \sum_j X_{ij} + \sum_k X_{kj} \\ &= D_j \end{aligned} \quad (4)$$

5- Atendimento da demanda por estado (cenário 5 e 6)

$$\sum_r \sum_i X_{ij} + \sum_r \sum_i X_{ik} = Ad_r \sum_j D_j \quad (5)$$

6- Abrir uma fábrica em cada estado

$$\sum_r Y_{ir} = 1 \quad (6)$$

$i = \text{Origem (fábrica)}$

$k = \text{Transbordo}$

$j = \text{Destino}$

$r = \text{Estado}$

$X_{ik} = \text{Volume Transportado da Origem para o Transbordo por Modal Rodoviário}$

$X_{kj} = \text{Volume Transportado do Transbordo Ferroviário até o Destino}$

$X_{ij} = \text{Volume Transportado da Origem até o Destino por Modal Rodoviário}$

$Y_{ir} = \text{Variável Binária de Abertura da Fábrica por Estado}$

$D_{ik} = \text{Distância da Origem até o Transbordo}$

$D_{kj} = \text{Distância do Transbordo até o Destino}$

$D_{ij} = \text{Distância da Origem até o Destino}$

$CT_{ik} = \text{Custo de Transporte da Origem até o Transbordo}$

$CT_{kj} = \text{Custo de Transporte do Transbordo até o Destino}$

$CT_{ij} = \text{Custo de Transporte da origem até o Destino}$

$D_j = \text{Demanda por Destino}$

$Qu_i = \text{Quantidade de Fábrica a ser aberta}$

$O_i = \text{Oferta por Origem}$

$Ad_r = \% \text{ de atendimento da demanda pelo estado}$

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão analisados e discutidos os principais resultados do modelo aplicado aos diferentes cenários propostos. Foi utilizado o software *What's Best* da *Lindo System Inc.* para rodar o modelo de otimização com dados transcritos em planilhas do *Microsoft Excel*. Este aplicativo permite modelagens rápidas e fáceis para obtenção dos resultados (LINDO SYSTEMS INC, 2011).

A Tabela 2 ilustra estes resultados, demonstrando a localização escolhida para as usinas nos diferentes cenários, os pontos de transbordo rodoferroviário utilizados e o custo total das alternativas propostas. É importante salientar que o custo total no modelo proposto corresponde ao custo de transporte do produto somado ao custo de transbordo, caso este utilize o modo ferroviário.

Pode-se observar na Tabela 2 que o uso do modo ferroviário (cenários C3, C4 e C6) gerou uma economia de cerca de 60% em comparação aos cenários com uso exclusivo do modal rodoviário. Este modal representou cerca de 91% do total movimentado nos cenários em que este foi usado, não atendendo somente as bases que não possuem acesso ferroviário (Araçatuba, Barueri e São Caetano do Sul). Isto ocorreu em virtude do modo ferroviário possuir um frete consideravelmente menor se comparado ao modal rodoviário, de cerca de 60%.

Tabela 2. Resultados dos diferentes cenários com relação à demanda total, localização das usinas, utilização de transbordos e o custo total.

Cenário	Demanda Total (t)	Localização das Usinas	Transbordos utilizados	Custo Total (R\$)
C1	571.897	Três Lagoas (MS)	Sem transporte ferroviário	49.842.518
C2	800.656	Três Lagoas (MS)	Sem transporte ferroviário	69.779.525
C3	571.897	Três Lagoas (MS)	Três Lagoas (MS)	29.355.312
C4	800.656	Três Lagoas (MS)	Três Lagoas (MS)	41.097.437
C5	800.656	Itumbiara (GO), Três Lagoas (MS), Primavera do Leste (MT)	Sem transporte ferroviário	80.525.495
C6	800.656	Ipameri (GO), Três Lagoas (MS), Alto Araguaia (MT)	Catalão (GO), Três Lagoas (MS), Alto Taquari (MT)	48.272.485

Fonte: Resultados da pesquisa, 2011.

Os cenários C1 e C4 consideram a instalação de apenas uma unidade de produção de biodiesel no sistema, especificadamente na cidade de Três Lagoas (MS), devido à existência de um terminal de transborodo rodo-ferroviário nesta, o qual ocasiona redução dos custos de transporte do produto apesar da adição do custo da operação de transborodo, o qual dilui-se nas grandes distâncias percorridas.

Nos cenários C5 e C6, no qual foi exigido que no mínimo uma unidade estivesse presente em cada um dos estados da região Centro-Oeste, a possibilidade de uso do transporte ferroviário influenciou na localização das unidades. Caso seu uso fosse possível, o modelo alocaria as unidades para as cidades de Ipameri (GO), Três Lagoas (MS) e Alto Araguaia (MT), resultando em um custo de transporte 60% menor que o cenário sem uso de modo ferroviário, que alocou as unidades nas cidades de Itumbiara (GO), Três Lagoas (MS) e Primavera do Leste (MT). No primeiro caso, o custo total foi de R\$ 48.272.485, enquanto que no segundo este foi de R\$ 80.525.495. No cenário C6, os transbordos utilizados foram os localizados nas cidades: Catalão (GO), Três Lagoas (MS) e Alto Taquari (MT). A Figura 1 a seguir demonstra os diferentes cenários, ilustrando as diferentes configurações das redes logísticas.

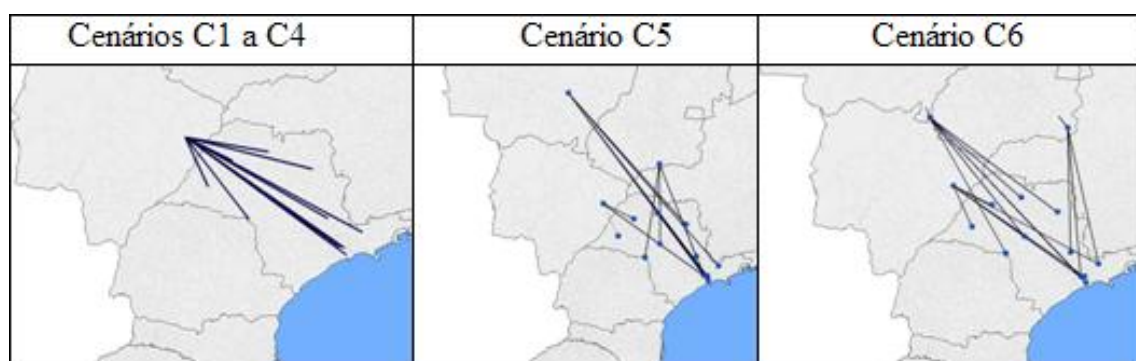


Figura 1. Resultados dos diferentes cenários.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2011.

Foi detectada uma série de melhorias a serem implementadas no modelo proposto. Estas dizem respeito à: inclusão das cadeias de outras matérias-primas importantes para a produção de biodiesel, como sebo bovino e óleo de mamona; levantamento das capacidades de

processamento das atuais usinas de produção de biodiesel e indústrias processadoras de soja; e levantamento e inclusão de custos dos investimentos a serem feitos na abertura de unidades nas diferentes regiões. Estas serão gradualmente implementadas em função das entradas fornecidas pelos agentes da cadeia.

As principais limitações observadas ao longo da elaboração e análise dos resultados do modelo proposto são relacionadas à falta de disponibilidade de dados de capacidade dos terminais de transbordo rodoferroviários, da demanda de biodiesel nas diferentes bases distribuidoras e das capacidades de processamento das indústrias processadoras de soja.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados do modelo proposto, aplicado aos diferentes cenários, permite concluir que o uso do modo ferroviário no transporte de biodiesel para atender a demanda das bases distribuidoras do estado de São Paulo resulta em uma diminuição significativa nos custos de transporte do produto, considerando custos de frete e de transbordo. Esta redução nos custos totais chega a ser de 60% em comparação ao cenário com transporte unicamente rodoviário, que caracteriza a situação atual do transporte deste produto.

Os cenários apontaram que, caso o modo ferroviário possa ser utilizado, a configuração da rede logística será modificada. Porém, devido aos baixos custos associados à cidade de Três Lagoas (MS), por esta possuir atualmente tanto um terminal de transbordo rodoferroviário quanto uma indústria de processamento de soja, esta foi escolhida como localização de uma usina de produção de biodiesel em todos os cenários analisados.

A continuação do presente trabalho diz respeito à: consulta aos agentes da cadeia para identificar possíveis lacunas do mesmo; inclusão de outras matérias-primas como sebo bovino e óleo de mamona para analisar se estas causam impactos na localização das usinas de processamento de biodiesel; o levantamento da capacidade de processamento das atuais indústrias processadoras de soja e usinas de produção de biodiesel; e inclusão dos investimentos necessários para a abertura de usinas de produção de biodiesel de diferentes portes.

As principais limitações observadas dizem respeito à dificuldade em obter dados de capacidade dos terminais de transbordo rodoferroviários, da demanda de biodiesel em cada base distribuidora ou região do estado e da capacidade de moagem das indústrias processadoras de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE (2011) Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Disponível em: <<http://www.abiove.com.br>>. Consulta realizada em 03 de julho de 2011.
- ANP (2011) *Anuário 2010*. Agência Nacional do Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Consulta realizada em 02 de julho de 2011.
- ANTT (2002) *Tabelas tarifárias das operadoras ferroviárias*. Agência Nacional dos Transportes Terrestres, Brasília, DF.
- ANTT (2010) Agência Nacional dos Transportes Terrestres, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Consulta realizada em 02 de julho de 2011.
- APROSOJA (2011) Associação dos Produtores de Soja do Estado do Mato Grosso. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br>>. Consulta realizada em 05 de julho de 2011.

- Ballou, R. H. (2004) *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial* (5ªed.). Bookman, São Paulo, SP.
- Bartholomeu, D. B. (2006) *Qualificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras*. Tese de Doutorado em Economia Aplicada, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.
- Bowersox, D. J.; D. J. Closs e M. B. Cooper (2008) *Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística* (2ªed.). Elsevier, São Paulo, SP.
- Caixeta Filho, J. V. (2010) Logística para a agricultura brasileira. *RBCE*, v. 25, n. 103, p. 18-30.
- Caixeta Filho, J. V. e A. H. Gameiro (2001) *Transporte e Logística em Sistemas Agroindustriais*. Atlas, São Paulo, SP.
- Caixeta Filho, J. V.; N. D. V. Silva; A. H. Gameiro; R. L. Lopes; P. R. C. Galvani; L. M. Martignon e R. W. C. Marques (1998) *Competitividade no Agribusiness: A Questão do Transporte em um Contexto Logístico*. Piracicaba, SP.
- Carvalho, E. R. (2008) *Biodiesel: Análise e dimensionamento da rede logística no Brasil usando programação linear*. Dissertação de mestrado, POLI/USP, São Paulo, SP.
- Chopra, S. e P. Meindl (2010) *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (4ªed.). Pearson Education, New Jersey, USA.
- CNM (2011). *Dados de indicadores – PIB*. Confederação Nacional dos Municípios. Disponível em: <http://www.cnm.org.br/pib/padiao.asp>. Consulta realizada em 07 de julho de 2011.
- Cooper, D. R. e P. S. Schindler (2001) *Métodos de Pesquisa em Administração*. Bookman, Porto Alegre, RS.
- Coronado, C. R.; J. A. de Carvalho Jr e J. L. Silveira (2009) Biodiesel CO2 emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market. *Fuel Processing Technology*, v. 90, n. 2, p. 204-211.
- Daskin, M. S. (1985) Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research. *Transportation Research - A*, v.19A, n.5/6, p.383-393.
- Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- ESALQ-LOG (2011) *Anuário 2010 do Sifreca - Sistema de Informações de Fretes*. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial, Piracicaba, SP.
- FAO (2011) *FAOSTAT*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Consulta realizada em 05 de julho de 2011.
- IBGE (2009) *Censo Agropecuário 2006*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Consulta realizada em 08 de julho de 2011.
- IMEA (2011) Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. Disponível em <http://www.imea.com.br/>. Consulta realizada em 05 de julho de 2011.
- Leduc, S., K.; K. Natarajan; E. Dotzauer; I. McCallum e M. Obersteiner (2009) Optimizing biodiesel production in India. *Applied Energy*, v. 86, Supplement 1, p. S125-S131.
- Leiras, A. S.; S. Hamacher e L. F. Scavarda (2008) An Integrated Supply Chain Perspective Evaluation for Biodiesel Production in Brazil. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 5, n. 2, p. 29-47.
- Lindo Systems Inc. (2011). What'sBest! 11.0 - Excel Add-In for Linear, Nonlinear, and Integer Modeling and Optimization. Disponível em: <http://www.lindo.com/>. Consulta realizada em 19 de setembro de 2011.
- Lund, H. (2007) Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, v. 32, n. 6, p. 912-919.
- Ma, F. e M. A. Hanna (1999) Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology*, v. 70, n. 1, p. 1-15.
- Moreira, A. R. B. (1996) *Modelos para Projeção do Consumo Nacional e Regional de Óleo Diesel*. Texto para discussão n° 433. Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada, IPEA, Rio de Janeiro, RJ.
- OCDE (2009) *More rail = Less CO2: UNIFE contribution to the discussion on the future of transport*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Bruxelas, Bélgica.
- OCDE/ITF (2010) *Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions: Trend & Data*. Disponível em: <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>. Organisation for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum. Consulta realizada em 21 de abril de 2011.
- Ojima, A. L. R. O. e A. Yamakami (2006) Modelo de programação quadrática para análise da movimentação logística e comercialização da soja brasileira. *Engenharia. Agrícola*, v. 26, n. 2, p. 552-560.
- Paulo, A. B. (2010) *A localização das unidades esmagadoras de soja nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás*. ESALQ-LOG.
- Peri, M. e Baldi, L. (2008) Biodiesel and vegetable oil market in European Union: some evidences from threshold cointegration analysis. *Proceedings of the 12th Congress of the European Association of Agriculture Economists*, EAAE, Ghent, Belgium, p. 1-3.

- Sarmiento, P. H. L. (2010) *Viabilidade econômica da produção de biodiesel na região sudeste do Mato Grosso*. Dissertação de mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.
- Silva, R. F.; D. B. Bartholomeu e J. V. Caixeta Filho (2010) Impactos ambientais de açúcar para exportação no Brasil: Quantificação das emissões de GEE evitadas pelo uso do modo ferroviário. *Anais do XII Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, ENGEMA, São Paulo, SP, disponível em *compact disc*.
- SINDICOM (2011) Sindicato das Distribuidoras de Combustíveis. Disponível em: <<http://www.sindicom.com.br>>. Consulta realizada em 26 de junho de 2011.
- Soares, M. G. e J. V. Caixeta Filho (1997) Caracterização do mercado de fretes rodoviários para produtos agrícolas. *Gestão e Produção [online]*, v. 4, n. 2, p. 186-204.
- TRANSPETRO (2011) *Tarifas de referência para serviços de movimentação em terminais*. Disponível em <<http://www.transpetro.com.br>>. Consulta realizada em 02 de julho de 2011.
- Vergara, S. C. (2005) *Métodos de Pesquisa em Administração*. Atlas, São Paulo, SP.
- Yoshizaki, H. T. Y. (2002) *Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços*. Tese (Livre-docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP.
- Zambon, K. L.; A. A. F. M. Carneiro; A. N. R. Silva e J. C. Negri (2005) Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 2, p. 183-199.