

UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO DA REDE LOGÍSTICA DE BIODIESEL DE SOJA.

Angelo Antonio de Miranda Freitas

Amaranto Lopes Pereira

Licínio da Silva Portugal

Programa de Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o projeto da cadeia de suprimentos de biodiesel. Trata-se de um tema de interesse para o país e para vários agentes econômicos, em particular, para as distribuidoras de combustíveis, que precisam mapear a oferta do biocombustível, visando preparar a sua rede logística para a mistura de 2% em volume com o diesel de petróleo (B2), a qual tornar-se-á compulsória a partir de janeiro de 2008, conforme prescrito pela Lei 11.097/2005. O artigo inicia-se com uma introdução, sendo seguida pela caracterização da cadeia de suprimentos do biodiesel, na qual discutem-se o suprimento, a produção e a distribuição. Cumprida esta etapa, é feita uma revisão bibliográfica com o intuito de formular um modelo matemático capaz de selecionar uma configuração eficiente, dadas as características do sistema logístico em questão. Então, os principais resultados são apresentados e avaliados, prosseguindo-se com as conclusões.

ABSTRACT

This work presents a case about the design of biodiesel supply chain. It's an issue of interest for Brazil and for many economic agents, mainly, for fuels distributors, which need to know the location of biofuels suppliers, aiming to prepare the logistic network for blending 2% with mineral diesel (B2), which will be compulsory by January, 2008, as prescribed by the Law 11.097/2005. The article begins with an introduction, followed by the description of the biodiesel supply chain features, where supply, production and distribution are discussed. Accomplished this stage, the bibliographic review is done, with the objective of build a mathematical model able to select the most efficient configuration, given the features of logistics system. Then, the main results are presented and evaluated, following with the conclusions.

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel é um óleo vegetal modificado através de uma reação química de interesterificação, que consiste na conversão dos triglicerídios da matéria-prima (óleo de soja, palma, girassol, mamona, óleos de fritura, gorduras animais etc.) juntamente com um álcool (metanol ou etanol), em éster (biodiesel) e glicerina (FGV, 2003).

Como o Brasil é um país importador de diesel mineral e possui um grande potencial agrícola, sendo inclusive o segundo maior produtor de soja no mundo, o Governo Federal iniciou um programa de biodiesel, por meio da Lei 11.097/2005, visando principalmente a geração de renda em áreas rurais, contribuindo para a fixação da população no campo. Além disso, a substituição parcial do diesel de petróleo por este biocombustível apresenta vantagens ambientais e propicia economias de divisas para o país.

Dado que, de acordo com a referida lei, a mistura do biodiesel em percentual de 2% no diesel mineral (B2) será obrigatória a partir de janeiro de 2008, surge a necessidade de projetar a rede logística para movimentar e armazenar o combustível, tema que vem sido debatido em vários fóruns, em decorrência da preocupação de governos estaduais, de investidores e, principalmente, do segmento de distribuição de combustíveis, um dos principais agentes econômicos desta cadeia de suprimentos.

Além disto, ressalte-se o desafio e a oportunidade de apresentar uma das propostas pioneiras de configuração para a rede logística de um produto deste a sua concepção. Outro estudo

semelhante foi feito por Cosenza (Planeta COPPE, 2005) ao localizar unidades de esmagamento de bagas de mamona e plantas de produção de biodiesel na região Nordeste, utilizando-se de lógica *fuzzy* para definir o melhor equilíbrio entre oferta e demanda de fatores locais.

Como a cultura de mamona não é capaz de suprir a quantidade de matéria-prima necessária para suprir o mercado brasileiro de biodiesel em 2008 (2% de biodiesel em volume misturado no diesel mineral), é oportuno avaliar como a capacidade produtiva de biodiesel de óleos vegetais (principalmente de soja) deve ser eficientemente distribuída geograficamente para suprir as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste ao menor custo, utilizando-se de culturas já estabelecidas nestas regiões: a soja e a cana-de-açúcar.

Destaca-se, ainda, que a indústria de óleos vegetais é a única capaz de sustentar o programa no curto prazo, em função da ampla disponibilidade de grãos para processamento e da capacidade instalada ociosa das unidades de esmagamento, estimada em quase 1,5 milhões t/ano, somente considerando as unidades industriais ativas (Abiove, 2003).

Assim, para atender a demanda de biodiesel, com base na capacidade de fornecimento já disponível, propõe-se o projeto de uma cadeia de suprimento para o biodiesel de soja, abrangendo as seguintes decisões:

- Macro-localização e capacidade das plantas de biodiesel a partir de um conjunto de locais elegíveis;
- Alocação de fornecedores às plantas industriais;
- Macro-localização e capacidade de armazéns derivados de um conjunto de prováveis locais; e
- Alocação de plantas industriais aos mercados de produtos e co-produtos do biodiesel de soja.

Tendo introduzido o estudo de caso, torna-se necessário apresentar a cadeia de suprimentos de biodiesel e os seus principais elementos constituintes. Em seguida, será feita uma revisão bibliográfica sobre os métodos de solução para o projeto de redes logísticas, incluindo os critérios de decisão para a adoção do modelo matemático utilizado neste estudo. Na próxima seção, serão apresentados os principais resultados do estudo, finalizando com as conclusões mais importantes do trabalho.

2. REDE LOGÍSTICA DO BIODIESEL DE SOJA

Entre as rotas de produção de escala comercial, o processo de interesterificação a partir do óleo de soja destaca-se como a opção mais eficiente atualmente. Para o propósito deste estudo, ele pode ser representado de forma simplificada pela figura 1, que exibe duas instalações principais de produção: o reator e a unidade de purificação de glicerina. A primeira converte os óleos vegetais, oriundos das esmagadoras de óleo vegetal, e o álcool (no caso, etílico), em biodiesel e glicerina bruta, cujo tratamento, na segunda instalação, permite especificar o produto para consumo na indústria química.

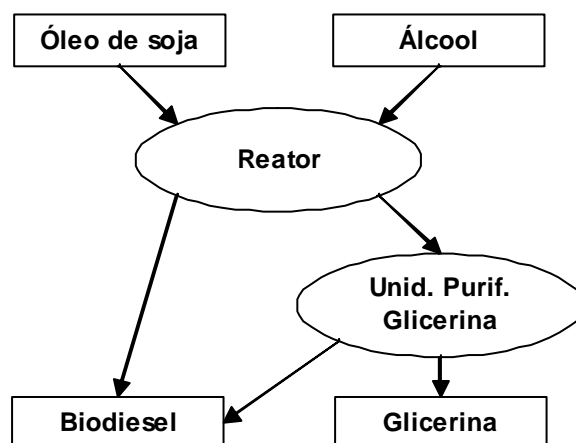
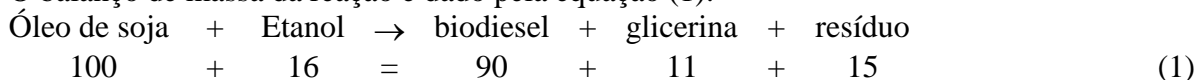


Figura 1: Diagrama representativo da produção de biodiesel a partir do óleo de soja.

O balanço de massa da reação é dado pela equação (1):



O biodiesel produzido deve, então, passar por uma série de testes que garantam o atendimento das especificações da ANP, antes da venda para o distribuidor, que fica responsável pela mistura do biocombustível no diesel mineral. A seguir, a mistura é transferida e distribuída para os postos de revenda pela rede logística já instalada.

2.1. Fornecimento de insumos

Considerando-se a rota de produção adotada, foi possível mapear a oferta de óleo vegetal para produção de biodiesel a partir da pesquisa de capacidade instalada, conduzida pela Abiove (2003), e pelo estudo da Embrapa Soja (2004). Como o *solver* utilizado apresentava limitações quanto ao número de variáveis, foi necessário agrupar a produção de óleo vegetal por mesorregião e fazer uma classificação ABC. Foram utilizados apenas os centróides correspondentes às mesorregiões do tipo “A” e “B”. As produções das regiões do tipo “C” foram aglutinadas às anteriores por critério de proximidade, resultando na oferta exibida na tabela 1. Ressalte-se que neste estudo considerou-se que até 20% do óleo vegetal produzido possa ser direcionado para a produção de biodiesel e que o produto esteja disponível durante o ano inteiro.

O suprimento de álcool etílico não precisa ser modelado, pois se encontra disponível na quantidade necessária em toda região Sul, Sudeste e Centro-Oeste, sendo, portanto, irrelevante na localização das plantas.

Tabela 1: Oferta de óleo vegetal.

Centróide	Produção de óleo vegetal (m³/ano)	Disponibilidade de óleo vegetal (m³/ano)
Passo Fundo	830.901	166.180
Cuiabá	749.838	149.968
Maringá	682.285	136.457
Ponta Grossa	614.732	122.946
Porto Alegre	493.136	98.627
Uberlândia	486.381	97.276
Presidente Prudente	445.849	89.170
Pires do Rio	422.206	84.441
Cascavel	405.993	81.199
Três Lagoas	351.275	70.255
Paranaguá	243.191	48.638
TOTAL	5.725.787	1.145.157

2.2. Locações potenciais para as plantas de biodiesel

Em geral, a região Centro-Sul apresenta oferta suficiente e em boa qualidade de fatores estratégicos, como infra-estrutura de transportes e de energia e recursos naturais. Logo, neste caso, não há necessidade de fazer *a priori* uma análise exaustiva de fatores locacionais.

Ressalte-se, ainda, que não é objetivo deste trabalho selecionar a localização exata das instalações, mas encontrar a distribuição da capacidade produtiva e os fluxos logísticos mais eficientes para a cadeia de suprimentos. Assim, é necessário verificar qual o posicionamento das instalações em relação aos consumidores e fornecedores que propicia uma maior redução de custos.

Então, decidiu-se que o conjunto de locações elegíveis para o assentamento da planta produtora deve contemplar localidades próximas às principais regiões fornecedoras (Passo Fundo, Cuiabá, Maringá, Ponta Grossa e Porto Alegre), bem como zonas próximas às bases de distribuição de combustíveis (Grande São Paulo, Ribeirão Preto e Betim), onde o biodiesel será armazenado para posterior mistura no diesel de petróleo e entrega nos postos revendedores.

Também foi incluída a locação de Charqueada, onde foi anunciada a construção de uma planta de 100 mil t/ano (MME, 2005).

Quanto ao transporte de óleo vegetal das esmagadoras para as plantas de biodiesel, foram consideradas duas opções de modalidade: rodoviária e ferroviária. Os fretes rodoviários (R\$/t.km) foram obtidos por regressão linear do frete (R\$/t) em relação à distância (Esalq, 2005). Por sua vez, os fretes ferroviários foram calculados com base na tabela de tarifas publicadas pela ANTT, quando esta alternativa estiver disponível para determinada rota.

2.3. Distribuição dos produtos

Em razão das limitações do *solver*, também foi necessário agregar a demanda de produtos por estados, visando reduzir o tamanho da rede logística. Assim, foram consideradas como centróides as principais bases de distribuição de combustíveis de cada estado: Paulínia, Betim, Maringá, Passo Fundo, Cuiabá, Itajaí, Duque de Caxias, Goiânia, Campo Grande e Vitória.

A demanda esperada de biodiesel em 2008 (quando a mistura for obrigatória) foi calculada em função da previsão da demanda estadual de diesel mineral (ANP, 2003), totalizando 753 mil m³/ano de biodiesel, conforme exibido na tabela 2.

Tabela 2: Estimativa da demanda de biodiesel

Centróide	UF	Previsão da demanda em 2008	
		Volume (mil m ³)	Percentual
São Paulo	SP	214.260	28%
Betim	MG	156.666	21%
Maringá	PR	85.569	11%
Passo Fundo	RS	63.728	8%
Cuiabá	MT	63.142	8%
Itajaí	SC	45.767	6%
Duque de Caxias	RJ	39.336	5%
Goiânia	GO	45.252	6%
Campo Grande	MS	24.118	3%
Vitória	ES	14.751	2%
Total Centro-Sul		752.590	100%

A glicerina pode ser vendida para indústrias químicas ou para fábricas de sabão. Neste último caso, a especificação do produto é menos rígida, dispensando o processamento adicional na unidade de purificação.

Porém, prevê-se que a sua oferta alcance cerca de 65 mil m³/ano, dado o volume de biodiesel a ser produzido (tabela 2), o que corresponde a 11% do consumo mundial, ou seja, uma quantidade muito superior ao que pode ser absorvido atualmente (e no curto prazo) pelo mercado interno. Logo, será necessário desenvolver novos mercados para este co-produto, o que torna o mapeamento da distribuição geográfica da sua demanda assaz difícil (FGV, 2003). Sendo assim, não há como estruturar uma rede para a sua distribuição.

Quanto ao resíduo, pode ser utilizado na própria planta para geração de energia, podendo, portanto, ser desconsiderado no modelo, sem maiores efeitos para o desempenho do sistema quando em operação.

O biodiesel é um combustível que degrada na presença de ar, água e luz, requerendo cuidados na sua movimentação e manuseio e, conseqüentemente, tornando o seu frete mais caro. Dados os procedimentos operacionais atuais, não é possível transportá-lo por ferrovias, devido ao elevado risco de contaminação do produto.

Portanto, a transferência e a distribuição de biodiesel devem ser feitas exclusivamente pela modalidade rodoviária, a exemplo do que ocorre hoje com os combustíveis especiais e *premium*. Como não há cotação de frete rodoviário para biodiesel, decidiu-se usar os fretes de álcool anidro (Esalq, 2005).

O biocombustível pode ser entregue diretamente das plantas produtoras ou pode passar por um centro de consolidação, onde o produto pode ser misturado para atingir as especificações da ANP e passar por testes obrigatórios, antes de ser entregue ao mercado.

Cabe aqui ressaltar que o custo do teste de biodiesel chega a R\$ 66 mil por batelada. Assim, torna-se necessário consolidar lotes para reduzir os dispêndios, o que pode ser mais facilmente conseguido sem aumentar o nível de estoques, com o envio da produção de diversas plantas para centros de consolidação, onde este custo fixo possa ser diluído num volume maior de produtos.

Devido ao nível de agregação da demanda de combustíveis (por estado), o conjunto de locações elegíveis para o centro de consolidação limita-se a: Betim, Maringá, São Paulo e Uberlândia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS MODELOS EXISTENTES

De acordo com Freitas *et al.* (2005), o projeto de redes logísticas pode basear-se em três métodos de solução: análise de fatores locais, modelos de otimização ou modelos estocásticos.

Quando as características do sistema em estudo exigirem e quando os recursos disponíveis e prazo propiciarem uma análise abrangente, as técnicas supramencionadas podem ser utilizadas de forma complementar na seleção de uma configuração que seja viável tecnicamente, econômica e robusta para operar de forma eficiente diante de cenários mais prováveis.

Conforme já foi mencionado no estudo de localização de plantas de biodiesel no Nordeste, Cosenza utilizou um modelo de análise de fatores locais baseado em lógica *fuzzy* (Planeta Coppe, 2005).

Neste estudo, não será necessário avaliar fatores qualitativos devido à oferta suficiente de recursos demandados por este tipo de instalação na região de estudo. Porém, o número de opções possíveis para assentamento permite inúmeras configurações (neste caso, 3712), tornando inviável a avaliação de cada uma. Desta forma, torna-se oportuno empregar a programação matemática, que é uma técnica eficiente na busca de soluções otimizadas.

Há uma ampla bibliografia de modelos de programação matemática, em particular de programação inteira mista (MIP, *mixed-integer programming*) para o projeto de cadeias de suprimento, conforme pode ser verificado em Vidal e Goetschalckx (1997). Destacam-se aqueles que pela generalidade da sua formulação possibilitam representar os sistemas logísticos atuais, com múltiplos períodos, estágios intermediários e períodos.

O primeiro modelo para estágios intermediários e múltiplos produtos foi proposto por Geoffrion e Graves (1974). Pela maior eficiência de solução, a sua estrutura influenciou diversas formulações posteriores, entre as quais a de Brown *et al.* (1987), que permite localizar plantas em dois estágios, por exemplo, manufatura e montagem, além de ser capaz de planejar quais facilidades colocar em cada planta industrial e de limitar o número de produtos a ser produzido numa instalação, possibilitando representar economias de escopo, ou seja, economias decorrentes da redução da variedade de produtos produzidas numa instalação.

Em Cohen e Moon (1990) é apresentado o primeiro modelo com dois estágios, também estruturado de forma similar a Geoffrion e Graves (1974). Além das restrições de capacidade

da planta, foi estabelecido um número mínimo e máximo de plantas, incluída na modelagem, a árvore de cada produto e a capacidade agregada das plantas.

Para configurar cadeias de suprimento globais, Arntzen *et al.* (1994) propuseram um modelo capaz de obter o projeto de uma rede mais econômica ou mais rápida no atendimento ao cliente. Com a sua utilização, também é possível decidir sobre o nível de integração vertical e o nível de modularização da fabricação de um produto (um produto pode ser fabricado em mais de uma planta), bem como incluir na função objetivo incentivos fiscais e vantagens comparativas.

Ressalte-se que por ser estruturado de forma diferente dos modelos anteriores, baseia-se num procedimento de solução diferente da decomposição de Benders, que de acordo com Geoffrion e Powers (1995), era um dos métodos mais eficientes resolver este tipo de problema. Arntzen *et al.* (1994) não demonstraram o desempenho da sua meta-heurística, porém o seu modelo está implantado no software GSCM (*Global Supply Chain Model*).

Seguindo a tendência de projetar cadeias de suprimento globais, Canel e Khumawala (1997) elaboraram um modelo de localização de instalações, considerando tributos e incentivos fiscais num modelo de múltiplos períodos, o que permite avaliar a evolução da capacidade instalada de acordo com a variação das condições de mercado.

Dogan e Goetschalckx (1999) também propuseram um modelo para múltiplos períodos, seguindo a mesma linha de Geoffrion e Graves (1974). A formulação não inclui tributos nem incentivos fiscais, mas representa convenientemente cadeias de suprimentos com vários estágios intermediários, sendo capaz de mensurar os custos de estoques.

Assim, tendo revisado o estado da arte na modelagem do problema, é possível avaliar o modelo que melhor se encaixa ao sistema logístico em questão.

4. MODELAGEM DO PROBLEMA

Dadas as características da cadeia de suprimentos do biodiesel, verifica-se que não há necessidade de utilizar um modelo do estado da arte, com múltiplos produtos, múltiplos períodos e a incorporação de tributos.

Desenvolveu-se, então, um modelo que permitisse localizar plantas e centros de consolidação (2 estágios intermediários), levando-se em consideração a oferta de óleo vegetal e a demanda estadual por biodiesel.

Segue a formulação (2-10), implementada no GAMS 2.05, visando obter a configuração do sistema logístico que resulta no menor custo total (2), composto respectivamente das parcelas a seguir: custo de transporte de entrada (suprimento), custo fixo de instalação da planta, custo variável de produção, custo de abertura do CD, custo de manuseio do CD, custo de transporte de saída (transferência e distribuição) e custo de teste nas plantas industriais.

Estão representadas as restrições de:

- Atendimento ao mercado (3);
- Capacidade de fornecimento (4), produção (5) e manuseio (6);
- Exclusividade de atendimento à zona de consumo (7);

- Balanço de massa entre insumos e produtos (8);
- Imposição de testa na planta para os produtos que não passarem por centros de consolidação (9); e
- Restrições de integralidade das variáveis binárias e de não negatividade das variáveis contínuas (10).

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_{h,j,m} x_{hjm} c_{hjm} + \sum_j F_j y_j + \sum_{j,k,l} q_{jt} w_{jkl} + \sum_k G_k u_k + \sum_{k,l} b_k D_l z_{kl} + \sum_{j,k,l} e_{jkl} w_{jkl} \\ & + \sum_j T_j t_{jk_0} \end{aligned} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_j w_{jkl} = D_l z_{kl} \quad \forall k, l \quad (3)$$

$$\sum_{j,m} x_{hjm} \leq S_h \quad \forall h \quad (4)$$

$$\underline{V}_j y_j \leq \sum_k w_{jkl} \leq \bar{V}_j y_j \quad \forall j \quad (5)$$

$$\underline{C}_k u_k \leq \sum_l D_l z_{kl} \leq \bar{C}_k u_k \quad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_k z_{kl} = 1 \quad \forall l \quad (7)$$

$$\sum_{h,m} x_{hjm} \geq \sum_{k,l} a_i w_{jkl} \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_l w_{jkl} \leq \bar{V}_j t_{jk_0} \quad \forall j \quad (9)$$

$$x_{hjm} \geq 0; w_{jkl} \geq 0; y_j \in \{0,1\}; z_{kl} \in \{0,1\}; u_k \in \{0,1\} \quad (10)$$

Onde:

H	Índice para fornecedores
J	Índice para plantas industriais
K	Índice para CDs
L	Índice para zonas de consumo
M	Índice para o modo de transporte
S_h	Disponibilidade de óleo vegetal no fornecedor h
D_l	Demanda de biodiesel na zona de consumo l
\underline{V}_j	Capacidade mínima da planta j
\bar{V}_j	Capacidade máxima da planta j
\underline{C}_k	Capacidade mínima do CD k
\bar{C}_k	Capacidade máxima do CD k
a_i	Quantidade de insumo i necessária para produzir uma unidade de biodiesel
c_{hjm}	Custo médio de transporte do fornecedor h para a planta j pela modalidade m
F_j	Custo fixo anual de operação da planta j
q_j	Custo variável de produção na planta j
G_k	Custo fixo anual de operação do CD k

T_j	Custo da análise de combustíveis na planta j
e_{jkl}	Custo médio de transporte do biodiesel da planta j para a zona de consumo l via CD k
b_k	Custo de manuseio no CD k
x_{hjm}	Quantidade de insumo transportado do fornecedor h para a planta j pela modalidade m
y_j	Variável inteira relacionada ao número de instalações de produção abertas na locação j
w_{jkl}	Quantidade de biodiesel transportado da planta j para a zona de consumo l via CD k
z_{kl}	Variável binária que indica que o CD k atende a zona de consumo l
u_k	Variável binária que indica a operação (abertura) do CD k
t_{jk_0}	Variável binária que indica a planta j que produziu o biodiesel distribuído diretamente ao mercado.

5. RESULTADOS

Para atender a demanda de biodiesel em 2008 (tabela 2), foram instaladas sete plantas industriais, cada uma com capacidade para produzir 100 mil t/ano. Como pode ser visto na figura 2, as plantas localizam-se próximas aos mercados consumidores, o que também pode ser observado na tabela 3. Aliás, a correlação entre a capacidade produtiva e a demanda é de 0,91, superando em muito a correlação entre a produção e os insumos, que é de apenas 0,53. Sendo assim, as opções de assentamento próximas aos fornecedores (no Paraná e no Rio Grande do Sul) não foram abertas.

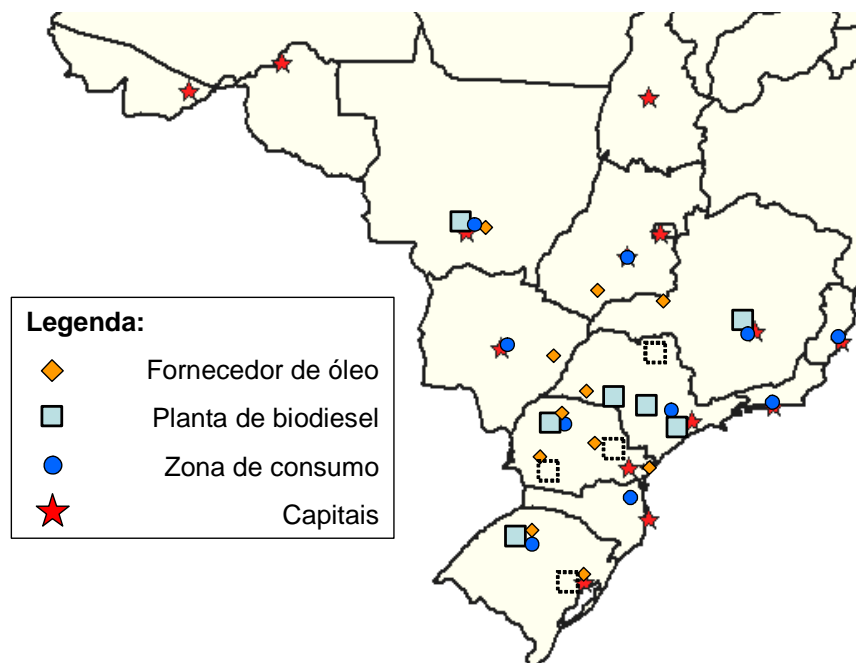


Figura 2: Localização das plantas de biodiesel.

Somente as unidades de Charqueada (SP) e de Passo Fundo (RS) não funcionam a plena capacidade.

Tabela 3: Relação entre oferta de óleo e capacidade de produção e demanda de biodiesel.

UF	Oferta de insumo (t/ano)	Capacidade produtiva (t/ano)	Demanda (t/ano)
ES	0	0	12.538
RJ	0	0	33.436
MG	60.097	100.000	133.166
SP	131.078	300.000	182.121
PR	267.361	100.000	72.734
SC	37.856	0	38.902
RS	176.032	100.000	54.169
MT	137.230	100.000	53.671
MS	66.059	0	20.500
GO	97.670	0	32.255
DF	0	0	6.210

Somente um centro de consolidação (em Betim) foi utilizado, com uma movimentação prevista de 146 mil t/ano, atendendo os mercados de Minas Gerais e Espírito Santo. Esta configuração resulta num custo total anual de R\$ 1,2 bilhão, incluídos R\$ 29 milhões relativos ao transporte de insumos e R\$ 36 milhões ao transporte de biodiesel.

Com a configuração selecionada, o biodiesel pode chegar aos mercados pelos preços exibidos na tabela 4, calculados em função do preço da matéria-prima. Verifica-se que o mercado mais vulnerável é Duque de Caxias, dado que as melhores alternativas de atendimento encontram-se distantes e, portanto, apresentam um custo mais elevado. Isto se deve ao isolamento do mercado em relação às demais plantas. Observe-se que o mesmo efeito ocorre em Goiânia e Vitória. Por outro lado, Passo Fundo e Cuiabá apresentam preços sombras relativamente baixos, pois possuem opções de atendimento competitivas.

Tabela 4: Preços sombra dos produtos nos mercados (sem impostos)

Mercado	Preço sombra (R\$/m³)	
	Óleo (US\$ 590/t)	Óleo (US\$ 500/t)
Paulínia	1.891	1.630
Betim	1.849	1.588
Maringá	1.771	1.510
Passo Fundo	1.674	1.413
Cuiabá	1.739	1.478
Itajaí	1.773	1.512
Duque de Caxias	1.961	1.700
Goiânia	1.936	1.675
Campo Grande	1.882	1.621
Vitória	1.958	1.697

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que na cadeia de suprimentos de biodiesel, a localização das plantas industriais está correlacionada com a demanda, devido à diferença entre os custos de transporte de insumos e de produtos.

Verificou-se, ainda, que somente 23% do produto foram distribuídos via centro de consolidação. Por se tratar de apenas um produto consumido em quantidade suficiente para fazer carregamentos de carga completa, as vantagens na consolidação da carga não compensam o acréscimo nos custos de transportes.

Zonas de consumo, como Rio de Janeiro e Espírito Santo, que apresentaram preços sombras altos e que se situam em áreas fronteiriças do sistema analisado, podem ser mais facilmente supridas por outras localidades não consideradas.

Como o modelo utilizado é determinístico, parcelas do custo total de natureza estocástica não puderam ser convenientemente representadas, com impactos sobre a decisão da localização do centro de distribuição. Da mesma forma, não estão contemplados os impactos que a proximidade de uma locação tem nas vendas da instalação, dado que a demanda é considerada exógena ao modelo.

Tendo em vista o grau de incerteza associado ao mercado tanto do biodiesel como da glicerina, recomenda-se que as soluções obtidas sejam avaliadas sob condições dinâmicas, o que não pode ser coberto pela análise de sensibilidade realizada.

Agradecimentos

Ao CNPq pelas bolsas de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE, Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (2004) Contém informações institucionais e dados estatísticos. Disponível em <http://www.abiove.com.br>. Acesso em 12/05/2004.
- ANP, Agência Nacional do Petróleo (2003) Anuário Estatístico. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em 12/05/2005.
- ARNTZEN, B. C., BROWN, G. G., HARRISON, T. P., TRAFTON, L. L. (1995) Global supply chain management at Digital Equipment Corporation, *Interfaces*, v. 25, n. 1, pp. 69-93.
- BRASIL. Lei nº 11097 de 13/01/2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636 de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 14/01/2005. pp. 8-9.
- BROWN, G. G., GRAVES, G. W., HONCZARENKO, M. D. (1987) Design and operation of a multicommodity production/distribution system using primal goal decomposition, *Management Science*, v. 33, n. 11, pp. 1469-1480.
- CANEL, C., KHUMAWALA, B.M. (1997) Multi-period international facilities location: an algorithm and application. *International Journal of Production Research*. v. 35, n. 7, pp. 1891-1910.
- COHEN, M.A., MOON, S. (1990) Impact of production scale economies, manufacturing complexity and transportation costs on supply chain facility networks. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, v. 3, pp. 269-292.
- DOGAN, K., GOETSCHALCKX, M. (1999) A primal decomposition method for the integrated design of multi-period production-distribution systems. *IIE Transactions*, v. 31, pp. 1027-1036.
- EMBRAPA SOJA (2004) *Ata da XXVI Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil*. Embrapa Soja: Fundação Meridional, Londrina.
- ESALQ, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (2005) Sistema de Frete Agrícolas (SIFRECA). Disponível em <http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>. Acesso em 17/05/2005.

- FGV (2003) *Avaliação de alternativas para o desenvolvimento do Biodiesel no Brasil*. EAESP/FGV, , Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.
- FREITAS, A.A. de M., PEREIRA, A.L., PORTUGAL, L. da S. (2005) Análise crítica do projeto de cadeias de suprimentos: revisão da metodologia e dos softwares disponíveis. *Anais do III Rio de Transportes*. Rio de Janeiro.
- GEOFFRION, A. M., GRAVES, G. W. (1974) Multicommodity distribution system design by Benders decomposition, *Management Science*, v. 20, n. 5, pp. 822-844.
- GEOFFRION, A. M., POWERS, R. F. (1995) Twenty years of strategic distribution system design: an evolutionary perspective, *Interfaces*, v. 25, n. 5, pp. 105-127.
- MME, Ministério de Minas e Energia (2005) *Biodiesel: o novo combustível do Brasil. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel*. Disponível em http://www.aea.org.br/docs/seminarios2005/combustiveis/02_Ricardo_Dornelles.pdf. Acesso em 20/05/2005.
- PLANETA COPPE (2005) *COPPE mapeia potencial da produção de biodiesel no Nordeste brasileiro*. Disponível em < <http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=575>>. Acesso em 18/06/2005.
- VIDAL, C.J., GOETSCHALCKX, M. (1997) Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models. *European Journal of Operational Research*, v. 98, n. 1, pp. 1-18.

Angelo Antonio de Miranda Freitas (angelofreitasrj@yahoo.com.br)
Amaranto Lopes Pereira (amaranto@pet.coppe.ufrj.br)
Licínio da Silva Portugal (licinio@pet.coppe.ufrj.br)