ÉDEN DE REZENDE CARVALHO

Biodiesel: Análise e dimensionamento da rede logística no Brasil usando programação linear

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. Nicolau Dionísio Fares Gualda

SÃO PAULO

2008

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 08 de outubro de 2008.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Carvalho, Éden de Rezende

**Biodiesel : análise e dimensionamento da rede logística no Brasil usando programação linear / É.R. Carvalho. -- ed.rev. -- São Paulo, 2008.
103 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Sistemas Logísticos.

1.Combustíveis alternativos 2.Programação linear I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes. Sistemas Logísticos II.t.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edite e Francisco, por todo o apoio durante minha vida, nos bons e nos maus momentos. Pelo contínuo estímulo no processo de aprendizado, pela persistência em mostrar aos filhos que o caminho da educação é o único capaz de realmente proporcionar melhoria de vida.

À minha esposa, Fernanda, pelo contínuo apoio e incentivo para que fosse possível a elaboração desta pesquisa. Por ter compreendido os momentos em que foi necessária minha ausência, para viabilizar a conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Nicolau, por seu contínuo apoio durante o processo de elaboração deste trabalho, fornecendo dicas valiosas e dando todo o suporte necessário no ambiente acadêmico.

Aos meus colegas de curso, que foram importantes parceiros durante as aulas e os trabalhos realizados.

Aos demais professores do curso de engenharia de sistemas logísticos, pelo estímulo ao meu desenvolvimento durante as aulas do curso.

Aos funcionários dos departamentos de engenharia de civil, produção e naval, pelo auxílio durante o curso.

À Universidade de São Paulo, por ser um centro de excelência acessível a todos os brasileiros. Por ser uma instituição capaz de transformar a realidade social e econômica das pessoas que acreditam no valor da educação.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo de programação linear inteira mista para localização das instalações da rede logística do biodiesel no Brasil, de forma a que se possa, com sua aplicação, avaliar o potencial de produção de oleaginosas no país, assim como identificar as zonas mais promissoras para a localização dos diversos elos da cadeia do biodiesel, a partir da demanda gerada pela mistura de um percentual de biodiesel ao diesel fóssil. O modelo incorpora quatro elos da cadeia produtiva (fase agrícola, extração de óleo, produção de biodiesel e pontos de demanda). Os parâmetros do modelo foram estimados com base em informações reais de mercado disponíveis (base de dezembro/2007). Obteve-se com a aplicação do modelo a diversos cenários, os municípios mais indicados para produção das oleaginosas, as oleaginosas utilizadas, o volume de produção em cada local e, por fim, a localização e porte das fábricas de óleo e das usinas de biodiesel. Análises de sensibilidade de alguns parâmetros foram executadas para verificação do comportamento do modelo face a incertezas. O trabalho incorpora sugestões e recomendações para aprimoramento do modelo.

ABSTRACT

In this research a mixed integer linear programming model was developed to locate facilities related to the biodiesel supply chain in Brazil, making possible to evaluate the oleaginous production potential, as well as the most promising regions to become the location of the several levels of the biodiesel chain, in accordance to the biodiesel future demand. The model incorporates four levels of the productive chain (agricultural phase, extraction of oil, biodiesel production and demand points). The model parameters were estimated based on market information available (base of december/2007). The application of the model to several sceneries led to the indication of the most promising regions for production of the oleaginous, the used oleaginous ones, the volume of production in each place and, finally, the location and scale of oil and biodiesel factories. Sensibility analyses were conducted to verify the results related to parameters uncertainty. The research contains suggestion and recommendations for improvement of the model.

SUMÁRIO

Índice de Tabelas

Índice de Figuras

1. Introdução	1
1.1. Objetivo e escopo da dissertação	1
1.2. Relevância do tema	1
1.3. Visão geral da dissertação	5
2. Revisão bibliográfica	6
2.1. Introdução	6
2.2. Logística	6
2.3. Gestão da Cadeia de Suprimentos (<i>Supply Chain Management</i>)	7
2.4. Modelos de localização	9
2.4.1. Definição do conceito de modelo de localização	9
2.4.2. Classificação dos modelos de localização	10
2.4.3. Histórico	12
2.4.4. Seleção do modelo de localização a ser utilizado	15
2.5. Zoneamento agrícola	16
3. Modelagem do problema	20
3.1. Introdução	20
3.3. Modelo de programação linear proposto	22
4. Apresentação dos parâmetros do modelo	29
4.1. Definição da unidade geográfica mínima	30
4.2. Capacidade máxima anual de produção de cada oleaginosa em cada município	30
4.2.1. Municípios aptos a produzir as oleaginosas	30
4.2.2. Área máxima que pode ser destinada a cada oleaginosa	31
4.2.3. Produtividade média por município	31
4.3. Custos de produção de oleaginosas	32
4.4. Capacidade máxima de produção nas fábricas de óleo em cada escala	35
4.5. Capacidade máxima de produção nas usinas de biodiesel em cada escala	36
4.6. Custos de transporte de oleaginosas dos municípios até as fábricas de óleo	36
4.7. Custos de produção de óleo	40
4.8. Custos de transporte entre as fábricas e as usinas de biodiesel	41
4.9. Custo de produção de biodiesel nas usinas	41
4.10. Cotas geográficas das bases de distribuição (pontos de demanda)	44
4.11. Custo de transporte entre as usinas de biodiesel e as bases de distribuição	45
4.12. Consumo nacional de óleo diesel	46
4.13. Fatores de conversão de óleo a partir de cada oleaginosa	49
4.14. Fatores de conversão de óleo em biodiesel	49
4.15. Definição das localizações candidatas para as fábricas de óleo	50
4.16. Definição das localizações candidatas para as usinas de biodiesel	54
4.17. Custo fixo de operação de uma fábrica produtora de óleo	55
4.18. Custo fixo de operação de uma usina de biodiesel	55
5. Solução do Modelo	56
5.1. Processamento do Modelo	56

5.2 Parâmetros do Cenário Básico	58
5.2.1. Potencial de produção de cada oleaginosa	58
5.2.2. Candidatas a fábricas	61
5.2.3. Candidatas a usinas	62
5.3 Resultados do Cenário Básico	64
5.3.1 Municípios produtores de oleaginosas e fábricas de destino	64
5.3.2 Usinas selecionadas e fábricas fornecedoras	66
5.3.3 Suprimento das bases de distribuição	67
5.3.4 Custo total.....	75
6. Cenários alternativos	77
6.1 Introdução	77
6.2. Variação dos custos fixos das fábricas e das usinas	77
6.3. Variação da capacidade das fábricas e das usinas	81
6.4. Variação da demanda no mercado interno	83
6.5. Variação no percentual máximo de terra alocada para cada oleaginosa	88
7. Conclusões	91
7.1. Resumo dos tópicos desenvolvidos na dissertação	91
7.2. Comentários e críticas da modelagem e propostas para novos desenvolvimentos	95
7.2.1. Custo da produção agrícola	95
7.2.2. Competição com outros mercados.....	96
7.2.3. Custos de produção industrial independentes da localização.....	97
7.2.4. Custo de estocagem	98
7.2.5. Custo de frete.....	99
8. Bibliografia	100

Índice de tabelas

Tabela 1: Custo detalhado de produção de algodão na cidade de Barreiras na safra 2008/2009 ..	34
Tabela 2: Equações para cálculo de frete R\$/txkm.....	39
Tabela 3: Custo variável de extração de óleo para as diversas oleaginosas	40
Tabela 4: Custo do processo de transesterificação	43
Tabela 5: Consumo de óleo diesel no Brasil em 2006.....	46
Tabela 6: Demanda de óleo diesel e biodiesel por base de distribuição	47
Tabela 7: Taxa percentual de óleo das diversas oleaginosas estudadas - rendimento industrial ..	49
Tabela 8: Receita com subprodutos do processo de extração de oleaginosas	50
Tabela 9: Classificação das mesoregiões de acordo com o custo por (R\$/t de óleo)	51
Tabela 10: Ordenamento dos municípios em função do índice (t x km).....	52
Tabela 11: Custo fixo estimado para fábricas de extração de óleo.....	55
Tabela 12: Custo fixo estimado para usina de produção de biodiesel	55
Tabela 13: Potencial de produção de óleo no cenário básico x Consumo de óleo	61
Tabela 14: Relação de municípios candidatos a sediar uma fábrica no cenário básico.....	61
Tabela 15: Relação dos municípios candidatos a sediar uma usina de biodiesel no cenário básico	63
Tabela 16: Municípios selecionados para sediar uma fábrica de óleo no cenário básico.....	66
Tabela 17: Relação de municípios selecionados para sediar uma usina no cenário básico	67
Tabela 18: Custo total segmentado no cenário básico – nível de tolerância ZERO	75
Tabela 19: Custo total segmentado no cenário básico – nível de tolerância 0,1%	75
Tabela 20: Variação do custo fixo por tonelada de fábricas e usinas – alternativas de 1 a 3	77
Tabela 21: Variação do custo fixo por tonelada de fábricas e usinas – alternativas 4 e 5	78
Tabela 22: Comparativo dos resultados da variação do custo fixo por tonelada - custos	79
Tabela 23: Comparativo dos resultados da variação do custo fixo por tonelada - estrutura logística	79
Tabela 24: Custos fixos de usinas e fábricas com escalas alternativas.....	81
Tabela 25: Comparativo da estrutura de custos - cenários com variação de escala de fábricas e usinas.....	82
Tabela 26: Comparativo da estrutura logística - cenários com variação de escala de fábricas e usinas.....	82
Tabela 27: Comparativo entre estruturas de custos nos cenários com variação de demanda.....	83
Tabela 28: Comparativo entre as estruturas logísticas nos cenários com variação de demanda ..	83
Tabela 29: Comparativo da estrutura de custos - cenários com variação do % máximo de terra ..	88
Tabela 30: Comparativo da estrutura logística - cenários com variação do % máximo de terra..	88
Tabela 31: Comparativo da localização das fábricas - cenários com variação do % de terras	90
Tabela 32: Custo de produção de óleo de cada fábrica no cenário básico.....	93
Tabela 33: Custo de produção de biodiesel em cada usina no cenário básico.....	93
Tabela 34: Custo do biodiesel entregue em cada usina no cenário básico	94

Índice de Figuras

Figura 1: Evolução do preço médio do barril de petróleo tipo BRENT	2
Figura 2: Exigências climáticas da cultura do amendoim	17
Figura 3: Mapa de zoneamento da mandioca para o Estado do Paraná em 1997	19
Figura 4: Quantidade de insumos necessários e rendimento da reação de transesterificação	43
Figura 5: Mapa com a localização das bases de distribuição de petróleo das filiadas ao SINDICOM	45
Figura 6: Representação gráfica da Mesoregião SUL GOIANO no mapa do Brasil	53
Figura 7: Representação gráfica dos municípios da mesoregião SUL GOIANO – com indicação de potencial de produção de óleo de soja	53
Figura 8: Representação gráfica detalhada do município candidato a ser sede uma fábrica na mesoregião SUL GOIANO	54
Figura 9: Potencial de produção de dendê no cenário básico	58
Figura 10: Potencial de produção de girassol no cenário básico	59
Figura 11: Potencial de produção de Soja no cenário básico	59
Figura 12: Potencial de produção de Mamona no cenário básico	60
Figura 13: Potencial de produção de algodão no cenário básico	60
Figura 14: Localização geográficas das fábricas candidatas no cenário básico	62
Figura 15: Localização geográfica dos municípios candidatos a sediar uma usina no cenário básico	64
Figura 16: Município produtoras de oleaginosas e fábricas abertas no cenário básico	65
Figura 17: Fluxo de abastecimento das bases de distribuição do RS e SC no cenário básico	68
Figura 18: Fluxo de abastecimento das bases de distribuição do PR no cenário básico	68
Figura 19: Fluxo de abastecimento das bases de distribuição em SP no cenário básico (exceto São Paulo Capital)	69
Figura 20: Fluxograma de abastecimento da base de São Paulo (Capital) no cenário básico	70
Figura 21: Fluxograma de abastecimentos das bases de MG, RJ e ES no cenário básico	71
Figura 22: Fluxograma de abastecimento das bases da região Norte no cenário básico	72
Figura 23: Fluxograma de abastecimento das bases de distribuição da região Nordeste no cenário básico	73
Figura 24: Fluxograma de abastecimento da Região Centro-Oeste no cenário básico	74
Figura 25: Origem do óleo no cenário básico x no cenário com duplicação da demanda	84
Figura 26: Localização de municípios produtores de oleaginosas e fábricas - cenário com aumento de 40% na demanda	85
Figura 27: Localização de municípios produtores de oleaginosas e fábricas - cenário com aumento de 60% na demanda	86
Figura 28: Localização de municípios produtores de oleaginosas e fábricas - cenário com aumento de 100% na demanda	87

1. Introdução

1.1. Objetivo e escopo da dissertação

Este trabalho tem por objetivo principal desenvolver uma modelagem da rede logística do biodiesel que possibilite a análise dos cenários de exploração do potencial brasileiro para produção deste combustível.

Pretende-se que o modelo permita obter um mapa das regiões com maior potencial para produção de oleaginosas, considerando-se as variáveis relativas ao custo de produção, custo de transporte, custos industriais e acesso aos mercados consumidores.

Além de uma visão estática (relativa ao cenário atual), o objetivo principal é desenvolver uma modelagem que possa ser facilmente utilizada mesmo quando as condições do mercado forem se alterando, para se obter a indicação das áreas mais promissoras para cultivo e localização de instalações industriais.

1.2. Relevância do tema

As atividades econômicas da espécie humanas dependem diretamente de fontes seguras de energia. Este é o insumo primordial sobre o qual está alicerçada toda a atividade humana em nosso planeta.

Nas últimas décadas, a humanidade tem baseado a geração de energia em uma matéria-prima de origem mineral e finita por definição, o petróleo. Dado a inevitabilidade do fim das reservas naturais de óleo, e a escalada de dificuldade de extração e transporte deste insumo (em função de guerras, questões geopolíticas e da distribuição geográfica deste mineral), o custo unitário por unidade de energia gerada tende a crescer ao longo do tempo. A figura 1 mostra a evolução do preço do barril do petróleo entre julho/1988 e Julho/2007, e a tendência contínua de encarecimento deste insumo ao longo do tempo.

Preço de fechamento do barril de petróleo tipo Brent

Figura 1: Evolução do preço médio do barril de petróleo tipo BRENT
Fonte: Oilenergy.com

Outro aspecto importante no contexto global de suprimento de energia é a questão ecológica. A queima de combustíveis fósseis contribui para o aumento do volume de gás carbônico CO_2 na atmosfera, acelerando a ocorrência do chamado “efeito estufa”, que tem levado ao aumento da temperatura média da Terra. Segundo pesquisas realizadas nos últimos anos, este aumento da temperatura do planeta pode levar ao derretimento das calotas polares, com conseqüente aumento do nível dos oceanos (com a destruição de milhares de cidades litorâneas e até de países inteiros) ,(Agência Internacional de Energia –IEA,2004).

Como existe uma correlação notória entre a temperatura e o volume dos oceanos e o clima do planeta, os efeitos negativos sobre os destinos da vida no planeta são provavelmente devastadores.

Neste cenário, as fontes alternativas de geração de energia ganham destaque, principalmente as ecologicamente sustentáveis.

Segundo o relatório da Agência Internacional de Energia-IEA) – “Biofuels for transport – an international perspective” (2004), o uso de biocombustíveis podem melhorar a segurança energética, reduzir a emissão de gases, melhorar a performance dos veículos automotores, ajudar o desenvolvimento da economia rural e, sobre certas premissas, proteger o meio-ambiente e os solos.

Ainda segundo o relatório da IEA, os biocombustíveis, quando utilizados puros ou quando misturados aos combustíveis fósseis – forma mais fácil de intensificar a sua utilização por não necessitar de grandes alterações na rede de distribuição e nos veículos automotores existentes - apresentam redução substancial nas emissões de monóxido de carbono, dióxido de enxofre e material particulado. Além disso, os biocombustíveis são menos tóxicos e contribuem para reduzir a geração de lixo no planeta, transformando óleos residuais de fritura e outros resíduos industriais em biodiesel.

No Brasil, foi desenvolvido, a partir de 1973, o maior programa de produção de combustível renovável para veículos automotores (o Pró-álcool) conhecido em todo o mundo. Apesar de alguns reveses e dificuldades ao longo de todo este tempo, o programa pode ser considerado um grande sucesso atualmente, pois conseguiu desenvolver um mercado de grande porte para um combustível alternativo, com preços competitivos em relação aos preços atuais do petróleo. Como prova deste sucesso, na safra 2006/2007 a produção deste tipo de combustível atingiu a marca de 17,763 bilhões de litros anuais/ano UNICA (2007).

Em 2004, o governo brasileiro decidiu dar partida ao desenvolvimento de outro programa de incentivo a um combustível renovável, o biodiesel, desta vez destinado a substituir parte do óleo diesel consumido no país.

Espera-se que, nos primeiros anos, o preço do combustível alternativo ainda seja mais alto que o do óleo diesel. Entretanto, segundo o relatório da Agência Internacional de Energia (2004), os biocombustíveis ficarão mais competitivos na medida em que os preços dos combustíveis fósseis se tornem mais elevados, e com o crescimento da pressão ambiental pela redução das emissões de gases que geram o efeito estufa. Os custos de produção destes combustíveis, todavia, continuarão a ser muito maiores nos países industrializados do que nos países em desenvolvimento, principalmente os localizados nas regiões tropicais.

Como a demanda por biocombustíveis crescerá em um ritmo muito mais elevado nos países desenvolvidos e os custos de produção são e, continuarão a ser, muito menores nos países em desenvolvimento, será criado um grande mercado internacional deste tipo de combustível. Deste fato nasce a necessidade de se pensar e otimizar as cadeias de produção e distribuição destes combustíveis, dado que a logística será um elemento chave para que os mesmos cheguem aos mercados consumidores (tanto nacionais quanto internacionais) a preços competitivos .

Com o nascimento do programa nacional de biodiesel, com as perspectivas de explosão de consumo em outros países e com a vantagem competitiva dos países tropicais neste mercado, será essencial planejar a expansão da atividade no país, como forma de se aproveitar todo o potencial de desenvolvimento econômico desta confluência de fatores.

O biodiesel é um combustível produzido com base em dois insumos principais, um tipo de óleo vegetal (que pode ser de soja, dendê, mamona, girassol, algodão etc) e um álcool (metanol ou etanol). Também é possível a substituição do óleo vegetal por outras fontes, como gordura animal (principalmente sebo bovino) e/ou óleo residual de frituras.

O objetivo num primeiro momento é uma mistura de apenas 2% de biodiesel no diesel normal, mas com pretensão de crescimento do percentual misturado ao longo dos anos até atingir 5% em 2009.

Este novo programa gerou a necessidade de investimentos de grande porte na cadeia de produção de óleo e de combustível, que será aplicado principalmente ao longo das próximas décadas.

Dada a escala continental do Brasil, a obrigatoriedade de mistura de um percentual de biodiesel em todo o território nacional (pelas regras atuais – 5%), e a diversidade de alternativas de uma das matérias-primas (o óleo vegetal), nasce a necessidade de se otimizar a localização de instalações de produção de biodiesel.

1.3. Visão geral da dissertação

Este trabalho está subdividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Define os objetivos da dissertação e justifica a relevância do tema;
- Capítulo 2: Trata da revisão da literatura sobre conceitos relevantes para o desenvolvimento da dissertação, como logística, gestão da cadeia de suprimentos, zoneamento agrícola e metodologias de dimensionamento de redes logísticas;
- Capítulo 3: Trata da modelagem do problema de localização, definição das hipóteses empregadas e delineamento do escopo da resolução proposta;
- Capítulo 4: Apresenta os dados colhidos para alimentação da modelagem desenvolvida;
- Capítulo 5: Descreve os resultados obtidos no processamento do modelo no cenário básico, bem como a descrição dos recursos computacionais utilizados;
- Capítulo 6: Apresenta algumas análises de sensibilidade do modelo;
- Capítulo 7: Mostra as conclusões e os estudos adicionais que podem ser feitos para aperfeiçoar o modelo proposto.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Introdução

Este capítulo trata de conceitos relevantes para o desenvolvimento do trabalho. Procura-se fazer uma revisão sobre como os mesmos têm sido tratados por diversos autores ao longo da história. Os itens abordados são:

- Logística
- Gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management*)
- Modelos de localização
- Zoneamento agrícola

2.2. Logística

A necessidade de atividades logísticas (obviamente não conceituadas e apenas executadas intuitivamente) - transporte e manutenção de estoques - nasceu praticamente junto com o homem. BALLOU (2001) afirma que inicialmente estas atividades eram limitadas ao transporte de mantimentos, que pudessem ser carregados pelo próprio indivíduo, e a estocagem pouco sofisticada dos bens para consumo posterior. Isto tornava os homens fadados a morar perto das fontes de suprimento e a consumir uma quantidade muito pouco diversificada de mercadorias (somente aquelas para as quais a sua região era apta a produzir).

O mesmo autor menciona que o desenvolvimento posterior dos sistemas logísticos propiciou o grande desenvolvimento econômico mundial, visto nos dois últimos séculos. Com mecanismos eficientes de transporte e armazenagem, o consumo e a produção começaram a se separar geograficamente, permitindo ganhos de escala e especialização de regiões com as melhores condições produtivas.

No tema tratado nesta dissertação, este conceito é particularmente importante, na medida em que a produção de biodiesel deve ser feita nos locais onde há maior vantagem competitiva para tal (terras disponíveis, clima com aptidão para a oleaginosa de maior rendimento, mão-de-obra qualificada etc). Caberá ao modelo de dimensionamento proposto a resposta sobre quais são as localidades mais competitivas para garantir o custo mínimo total (produção + transporte).

BALLOU (2001) afirma que as atividades logísticas são a essência do comércio, sendo elas as responsáveis por fazer a ponte entre os locais de produção e os de consumo, separados pelo tempo e pela distância.

Conforme BALLOU (2001), o *Council of Logistics Management* define as atividades de logística como:

“As atividades que compõem a logística empresarial variam de empresa para empresa, mas basicamente são: serviços ao cliente, previsão de vendas, comunicação de distribuição, controle de estoque, manuseio de materiais, processamento de pedidos, peças de reposição e serviços de suporte, seleção do local da planta e armazenagem (análise de localização), compras, embalagem, manuseio de mercadorias devolvidas, recuperação e descarte de sucata, tráfego e transporte, armazenagem e estocagem”.

Ainda segundo BALLOU (2001), produtos e serviços não têm valor a menos que estejam sob a posse do cliente quando (tempo) e onde (lugar) eles desejam consumi-los.

2.3. Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*)

Os conceitos de otimização logística têm evoluído de um ponto de vista de apenas uma empresa para um ponto de vista mais amplo, englobando cadeias de fornecimento. Nasce daí o conceito de gestão da cadeia de suprimento (*Supply chain management* em inglês) – SHAPIRO (2001).

COHEN; LEE (1985) enfatizam a importância de incorporar toda a cadeia de suprimentos no desenvolvimento de estratégias integradas para produção e distribuição. Segundo eles, os *tradeoffs* existentes entre os custos de aquisição de matérias-primas, produção e distribuição têm um significativo impacto na escolha da solução ótima e, por isso, devem ser considerados nos modelos de localização.

Segundo YOSHIZAKI (2002), o gerenciamento de cadeia de suprimentos exige um incremento da visão externa à companhia. Por exemplo, decisões devem ser tomadas considerando o impacto ao longo de toda a cadeia para aumentar a competitividade da mesma para o consumidor final. Neste sentido, há ênfase em se fugir de relacionamentos com fornecedores ou clientes que sejam jogos de soma zero. Para isto é fundamental se conhecer os esquemas de recompensa ao longo da cadeia e, conforme o caso, realinhar os mesmos, eliminando ou reduzindo os *tradeoffs* que ocorrem entre os membros da cadeia.

SHAPIRO (2001), STOCK AND LAMBERT (1987) definem a gestão logística integrada da seguinte forma:

“O fundamento da gestão logística integrada é a análise do custo total, que é definida como a minimização dos custos de transporte, de armazenagem, de estoque, de processamento de ordens, de sistemas de informação e de custo por lote de produção, alcançando-se o nível de serviço desejado pelo cliente”.

Ainda segundo SHAPIRO (2001), a definição acima é relevante por trazer à tona os seguintes fatos:

- a) A importância do gestor de logística otimizar os custos indiretos, que são provavelmente bastante substanciais. Os custos com tecnologia da informação são os mais importantes, mas não os únicos;
- b) Todos os custos devem ser racionalizados, desde que obedeça à premissa básica de atendimento em nível de serviço requerido pelo cliente;

No primeiro item, SHAPIRO (2001) alerta para os custos de integração em uma cadeia de suprimentos. Para que o processo seja efetivo, é necessário montar uma grande estrutura de comunicação entre as empresas, tendo como objetivo a fluência, com agilidade, das informações necessárias a melhor gestão da cadeia. Segundo YOSHIZAKI (2002), a utilização de ECR (*Efficient Consumer Response*) é um exemplo clássico do conceito de SCM, ao tentar aproximar as indústrias (fornecedores) e o varejo supermercadista.

No segundo item, SHAPIRO (2001) alerta para a necessidade do processo de otimização logística considerar como restrição principal o atendimento do nível de serviço requerido pelo cliente.

Com o desenvolvimento dos conceitos de gestão da cadeia de suprimentos, a localização ideal de uma planta industrial passa a ser influenciada por todos os elementos da cadeia, desde as fontes mais adequadas de matérias-primas (quer elas existam ou tenham que ainda ser desenvolvidas) até os consumidores finais, passando por considerações sobre questões tributárias e posicionamento dos concorrentes.

Com o aumento da complexidade das relações empresariais, para que seja possível a gestão mais eficiente da cadeia de suprimentos, além de recursos de informática avançados, torna-se primordial o desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de lidar com o grande número de variáveis envolvidas, e de restrições que devem ser respeitadas.

2.4. Modelos de localização

2.4.1. Definição do conceito de modelo de localização

REVELLE et all (2007) definem um modelo de localização como sendo um conjunto composto por: um espaço físico (com uma métrica definida), consumidores que estão posicionados em locais conhecidos dentro do espaço, e instalações que precisam ser localizadas no espaço, de acordo com os critérios definidos em uma função objetivo. Apesar da imensa variedade de tipos e aplicações, todos os problemas obrigatoriamente contêm os 4 elementos fundamentais definidos acima.

BALLOU (2001) e ABOOLIAN (2007), afirmam que as decisões de localização envolvem a determinação dos seguintes parâmetros das instalações estudadas:

- 1) Quantidade;
- 2) Localização;
- 3) Tipo (tamanho, variedade de produtos e demais características de operação).

Estas instalações incluem pontos nodais da rede, como plantas, portos, fornecedores, armazéns, filiais de varejo e centros de serviço. Este processo dá formato, estrutura e forma ao sistema logístico inteiro.

BRANDEAU; CHIU (1989) citam como típicos problemas de localização: localização de armazéns de distribuição, desenho de rede para serviços públicos (tratamento de esgoto, distribuição de água, depósitos de lixo etc), localização de novas fábricas e/ou lojas de varejo e definição de postos de bombeiro (problema de máxima cobertura com tempo limite de atendimento definido).

2.4.2. Classificação dos modelos de localização

Devido à vasta abrangência de utilização de modelos de localização, vários pesquisadores têm proposto classificações que permitam organizar as categorias de acordo com os mais diversos critérios.

BALLOU (2001) propõe a classificação dos problemas de localização em 5 categorias:

- Por força direcionadora: fatores econômicos (indústria/centros de distribuição) ou acessibilidade (prestadores de serviço);
- Por número de instalações: uma instalação x várias instalações;
- Por forma de escolha: discreta (maioria) ou contínua;
- Por grau de agregação de dados: precisão da análise – localização precisa do local ou escolha da região;
- Por horizonte de tempo: Estática ou dinâmica

BRANDEAU; CHIU (1989) propuseram também uma classificação baseada nas metodologias de solução dos mesmos.

Métodos exatos ou otimizadores → Busca-se a solução matemática ótima, através da verificação de todas as possibilidades existentes. A solução encontrada é ótima e pode-se comprovar tal assertiva matematicamente. Em alguns modelos, com grande número de variáveis, pode se mostrar muito demorado ou até mesmo inviável.

Heurísticos → Através da definição de algumas regras para verificação das alternativas, busca a melhor solução. Não garante o ótimo, mas dependendo da eficiência das regras, pode encontrar soluções próximas do ótimo, com grande redução de tempo de processamento. É especialmente útil em problemas de grandes proporções, onde limitações de recursos computacionais e/ou de tempo de processamento impedem a verificação de 100% das alternativas. As regras tendem a se sofisticar e serem mais precisas na medida em que mais pesquisadores modelem problemas com a utilização desse método de solução.

Simulação → Através de softwares montam-se modelos que representem o problema a ser estudado (muitas vezes estocástico). A partir do modelo são gerados diversos cenários e suas respectivas estatísticas. A partir dos resultados obtidos é feita a seleção dos locais com melhor desempenho, de acordo com a função objetivo.

SHAPIRO (2001) afirma que os modelos de programação linear e os métodos de otimização dos mesmos são essenciais em todos os tipos de aplicação em gestão de cadeia de suprimentos.

REVELLE (2007) propõe a divisão em 4 categorias:

Modelos analíticos → São modelos baseados em um grande número de simplificações, tais como considerar a distribuição de demanda uniforme em toda a área estudada, considerar os custos das instalações como sendo fixo em qualquer localidade escolhida, custo fixo de transporte por km percorrido etc. São modelos que melhoram a percepção dos gestores sobre os *tradeoffs* existentes na cadeia, mas que não têm grande valor para a tomada de decisões em aplicações práticas;

Modelos contínuos → São modelos que consideram que as instalações podem ser localizadas em qualquer ponto da área estudada. As demandas são pontos discretos. O problema se resume a definir coordenadas (x,y) de cada uma das instalações de forma a se minimizar a distância total percorrida, ponderada pela carga transportada. Nos casos de aplicação prática, são pouco utilizados, por ser improvável uma situação em que 100% da área estudada esteja disponível para sediar o empreendimento. Normalmente são utilizados para aplicações como localização de câmeras de vigilância ou sensores para medição de poluição;

Modelos de rede → São modelos que consideram a alocação de uma instalação em uma rede composta por nós e arcos orientados. São utilizados, por exemplo, para dimensionamento de serviços de emergência em estradas;

Modelos de localização discretos → São modelos onde um volume discreto de demandas precisa ser atendido por instalações a serem localizadas. São definidos locais candidatos para receber as instalações (conjunto discreto). Na maioria das vezes são modelados através de programação linear inteira mista, mas podem se tornar insolúveis por este método. Muitos pesquisadores têm se dedicado a desenvolver métodos heurísticos para a solução desses problemas.

2.4.3. Histórico

Vários pesquisadores consideram que o problema de localização foi tratado pela primeira vez na literatura, de forma estruturada, por Weber em 1909 (BRANDEAU; CHIU (1989), OWEN; DASKIN (1998), BALLOU (2001), ZAINUDIN; SALHI (2007) e REVELLE et al (2007)). Ele formulou o clássico problema de posicionar um único armazém de forma a minimizar a distância total percorrida versus a carga transportada para atender a todos os clientes.

Segundo BALLOU (2001), após este primeiro enfoque surgiram outros pensadores desta primeira classe, como: T. PALANDER, AUGUST LOSCH, EDGAR HOOVER, MELVIN GREENHUT. O tema comum em todos os trabalhos é a preocupação com os custos de transporte na determinação da localização.

As teorias de localização ganharam novo fôlego, entretanto, somente com o trabalho de HAKIMI (1964), quando este autor formulou o problema de localizar uma ou mais instalações em uma rede, de tal forma a minimizar a distância total percorrida entre a instalação mais próxima e cada ponto de demanda. (BRANDEAU; CHIU (1989), OWEN; DASKIN (1998), REVELLE et al (2007)).

Ainda segundo BRANDEAU; CHIU (1989), após o trabalho de HAKIMI em 1964, várias pesquisas foram desenvolvidas na área da teoria das localizações. Um grande número de classes de problemas foi identificado e resolvido. As metodologias de localização foram estendidas para uma grande variedade de aplicações práticas.

Diante dos avanços da teoria de localização e da abertura para novas áreas e novas metodologias, tornou-se necessário uma compilação dos trabalhos prévios e uma classificação dos mesmos. Surgiram alguns trabalhos específicos para elaborar taxonomias e fazer revisões históricas dos principais avanços desta área do conhecimento.

O primeiro estudo amplo sobre a evolução das teorias de localização foi preparado por BRANDEAU; CHIU (1989). Eles fizeram um amplo trabalho de revisão, classificando os estudos prévios através de uma taxonomia com 31 categorias, envolvendo as principais características dos problemas de localização. Foram classificados 54 tipos de problemas estudados e publicados entre 1952 e 1989 (um tipo de problema é composto por um ou por vários trabalhos).

Após 9 anos, OWEN; DASKIN (1998) produziram uma nova revisão dos modelos de problemas de localização de instalações. O enfoque principal foi o de contrapor os modelos estáticos e determinísticos aos modelos dinâmicos. Os autores afirmam que os modelos para aplicações reais não podem se basear apenas no ótimo para a situação atual (ou para o cenário mais provável). É essencial analisar como a situação ótima encontrada se comporta durante todo o ciclo de vida útil das instalações a serem localizadas.

Ainda segundo OWEN; DASKIN (1998), as formulações estocásticas tentam embutir nos modelos as incertezas dos parâmetros (tais como: demanda, custos de frete, distâncias etc). Eles dividem os modelos estocásticos em dois grupos: a) os que consideram explicitamente a distribuição de probabilidades dos parâmetros incertos; b) os que consideram as incertezas através da análise de diversos cenários.

Os mesmos autores afirmam que AVERBAKH; BERMAN (1997) avaliam que a análise de sensibilidade, comumente utilizada para aferir como a solução ótima se comporta em cenários alternativos com alta probabilidade, ajuda a avaliar a robustez da solução, sem, contudo, incorporar as incertezas dos parâmetros ao modelo de forma pró-ativa.

VERTER; DASI (2001) se propõem a mostrar as principais tendências encontradas na literatura sobre um dos campos de aplicação dos modelos de localização (a classe de configuração dos problemas de produção-distribuição). Segundo eles, vários pesquisadores têm avançado no sentido de tornarem os modelos mais próximos da realidade ao incorporarem os seguintes aspectos em seus modelos:

- Vários elos na cadeia produtiva;
- Restrições de disponibilidade de fatores de produção em localizações alternativas;
- Multi períodos;
- Objetivos múltiplos na função objetivo;
- Cadeia global de suprimentos (com as dificuldades inerentes na previsão de parâmetros – taxa de câmbio, impostos, preferências de acordo bi-laterais etc).

Os mesmos autores concluem o trabalho apresentando, e defendendo, um modelo contínuo de localização. Segundo eles, modelos contínuos devem ser utilizados conjuntamente com um modelo discreto para se ter ao mesmo tempo uma solução ótima e uma visão ampla das decisões estruturais e das possíveis alternativas.

O trabalho mais recente que revisa a literatura sobre localização foi produzido por REVELLE et al (2007). Ele enfoca a evolução recente em duas categorias de localização discreta.

No Brasil, podemos citar dois trabalhos, com aplicações reais, que fazem um bom levantamento da literatura sobre o tema.

MARTOS (2000) fez um extenso levantamento da literatura sobre modelos de localização regional e os atributos considerados em cada modelo.

HAMAD (2006) fez um excelente levantamento sobre os fatores que foram considerados por diversos autores ao longo da história para modelos de localização em escala global.

2.4.4. Seleção do modelo de localização a ser utilizado

Este trabalho tratará de um modelo integrado de produção-distribuição, considerando-se os 4 elos da cadeia produtiva do biodiesel: 1) produção de matérias-primas (oleaginosas), 2) produção de óleo vegetal, 3) produção de biodiesel e 4) transporte até as bases de distribuição de combustíveis fósseis. O elo final da distribuidora até a rede varejista não será tratado neste trabalho, por constituir um sistema muito maior. A análise deste elo final depende do volume total de combustíveis líquidos e não compõe o foco deste trabalho.

Os softwares comerciais em geral utilizam modelos de localização baseados na programação linear inteira mista (PLIM), uma generalização dos modelos de programação linear pura, considerando-se variáveis inteiras e binárias [BALLOU (2001)].

SHAPIRO (2001) e BALLOU (2001) afirmam que a PLIM proporciona excelentes resultados para as análises de uma cadeia de suprimentos. Os modelos capturam com precisão as decisões importantes, as restrições e os objetivos de um problema de gestão de cadeia de suprimentos. Os métodos são capazes de encontrar boas soluções, que podem ser comprovadamente ótimas. A contrapartida é um maior tempo de resolução requerido.

Ainda segundo SHAPIRO (2001), a PLIM, pelo seu alto grau de realismo, pode levar um grande tempo para chegar à solução ótima. O método de *branch-and-bound* é uma sequência de aproximações de programação linear. Assim, o número de aproximações pode crescer exponencialmente com o número de variáveis inteiras do modelo. O autor aconselha que a modelagem deva considerar o equilíbrio entre o grau de realismo pretendido e a capacidade computacional (tempo de processamento) requerida para se encontrar a solução ótima.

Em função do *tradeoff* existente entre o grau de realismo do modelo e o tempo de processamento, os pesquisadores têm tentando desenvolver novos métodos de solução dos problemas de localização. Surgem com destaque os métodos heurísticos e meta-heurísticos.

Há aqui uma divergência importante entre os pesquisadores, alguns deles acreditando que os métodos heurísticos vão desempenhar um papel principal na evolução dos métodos de solução de problemas de localização, e outros defendendo que o papel destes métodos vai permanecer secundário. SHAPIRO (2001) afirma que as heurísticas tem sido sobrevalorizadas e que seu papel é complementar e não principal.

Para solução do problema proposto neste trabalho, será utilizado um modelo de programação linear inteira mista.

2.5. Zoneamento agrícola

O Zoneamento agrícola é uma ferramenta utilizada para se definir a potencialidade e a aptidão de uma determinada área para o plantio de uma espécie vegetal.

Segundo CARAMONI (2006), durante as etapas de mapeamento são analisadas características do solo, do clima e das plantas pesquisadas. Além da verificação das áreas com aptidão, define-se também qual a época ideal de semeadura para cada localidade.

No Brasil, o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) divulga anualmente o zoneamento agrícola de risco climático. Segundo o MAPA, este trabalho diferencia-se dos zoneamentos comumente produzidos por utilizar, além das variáveis comuns (solo, clima e planta), funções matemáticas e estatísticas (freqüencistas e probabilísticas) com o objetivo de quantificar o risco de perda das lavouras devido à ocorrência de eventos climáticos adversos, principalmente a seca. Com isso, identifica-se, para cada município, a melhor época de plantio das culturas nos diferentes tipos de solo e ciclos dos cultivares. (Ministério da Agricultura – 2007).

CARAMONI (2006) estabelece as seguintes etapas no processo de zoneamento agrícola:

a) Levantamento de dados históricos sobre a produção comercial da planta objeto de estudo nas localidades pesquisadas - para localidades onde já existam plantios comerciais:

- Análise dos dados de produtividade;
- Levantamento das áreas de concentração do cultivo;
- Verificação dos limites extremos de exploração comercial;

b) Realização de reuniões com vários especialistas da espécie:

- Levantamento dos dados históricos sobre experimentos realizados;
- Avaliação da produtividade em função de diferentes épocas de semeadura;
- Revisão de trabalhos anteriores

c) Levantamento de todas as exigências climáticas da planta durante o seu ciclo;

<p>Exemplo de exigências da cultura do amendoim</p> <p>1) Temperatura média mensal acima de 21 graus Celsius durante o ciclo</p> <p>2) Boa disponibilidade hídrica nos dois meses iniciais</p> <p>3) Deficiência hídrica moderada nos dois últimos meses do ciclo</p>

Figura 2: Exigências climáticas da cultura do amendoim
Fonte: CARAMANI (2006)

d) Levantamento de dados sobre solo e relevo:

- Análise das características físicas e hídricas dos solos, para determinação da capacidade de retenção de água;
- Levantamento de mapas de altitude;

e) Análise climática

- Organização dos dados climáticos;
- Determinação da disponibilidade climática – temperatura, chuvas, radiação solar, umidade e ventos;
- Determinação dos riscos climáticos – temperaturas extremas (geadas, resfriamentos, temperaturas altas), veranicos ou excesso de chuvas.

f) Definição do risco de deficiência hídrica

- Cálculo dos parâmetros de disponibilidade hídrica efetiva por decêndios;
- Determinação do ciclo da cultura;
- Definição das classes de retenção de água no solo;
- Plotagem dos dados de déficit hídrico em um sistema de informações georeferenciadas;
- Definição da lista de municípios aptos (método MAPA – 80% dos anos com ISNA (*) satisfatório). (*) ISNA → Indica o índice de satisfação das necessidades de água.

g) Validação dos resultados

- Discussão com especialistas da cultura;
- Apresentação dos resultados aos técnicos envolvidos com a cultura;
- Re-análise e execução dos ajustes necessários.

Ao final do processo é obtido, para cada cultura, um mapa com as áreas aptas ao cultivo e as épocas ideais para o cultivo. A figura 3 mostra o zoneamento da mandioca no Estado do Paraná realizado pelo IAPAR no ano de 1998.

Figura 3: Mapa de zoneamento da mandioca para o Estado do Paraná em 1997
Fonte: CARAMONI (2006)

Neste trabalho utilizaremos os mapeamentos realizados pelo Ministério da Agricultura para as culturas oleaginosas.

3. Modelagem do problema

3.1. Introdução

Neste capítulo será especificado com precisão o problema a ser solucionado. Além disso, serão estabelecidas as hipóteses que nortearão a modelagem matemática, bem como os critérios que serão utilizados para a coleta de dados.

3.2. Especificação do problema

Para analisar a cadeia de suprimento do biodiesel, foi montado um cenário com 5 tipos de oleaginosas e seu potencial de produção nas diversas regiões do país. As oleaginosas escolhidas foram: soja, caroço de algodão, mamona, dendê e girassol. Segundo BARROS; OSAKI (2006) estas oleaginosas, juntamente com o amendoim, são as mais promissoras para utilização na produção de óleo vegetal para biodiesel. Optou-se por não se considerar a produção de amendoim, dadas as restrições de dados de zoneamento disponíveis para esta oleaginosa.

Sabe-se que existem várias alternativas de matérias-primas para produção de biodiesel (sebo bovino, óleo de fritura, pinhão manso, babaçu etc), mas optou-se por restringir o problema estudado pelos seguintes motivos:

- Restrição nas informações de zoneamento para outras espécies vegetais;
- Pequena escala de produção no país, o que torna incerto o desenvolvimento destes cultivos;
- Reduzir o tamanho do modelo matemático, para viabilizar o processamento.

Considerou-se a potencialidade de produção de oleaginosas com base no zoneamento agrícola definido pelo Ministério da Agricultura. Este zoneamento serve de base para o Proagro (seguro agrícola). Os dados estão disponibilizados na internet no endereço indicado na referência bibliográfica MAPA (2007).

Optou-se por utilizar os dados do zoneamento do Proagro por ser esta uma base de dados oficial e que está baseada em estudos científicos consolidados. Sabe-se que alguns Estados ainda não foram mapeados completamente e que por isto não constam da base de dados oficial, apesar de reconhecidamente terem aptidão para o cultivo de oleaginosas.

Como exceção, dada a grande restrição de dados para o dendê no Proagro, utilizou-se o zoneamento desta cultura para o Estado do Pará baseado no trabalho de BASTOS (2001). Esta exceção se justifica por ser esta uma oleaginosa de grande potencial, mas com estudos científicos ainda incipientes.

A unidade mínima de origem da produção agrícola será o município (5.564 municípios).

Os custos de produção agrícola (R\$/hectare) e produtividade (ton/hectare) são baseados em dados disponibilizados pela CONAB (2008b). Os mesmos são agrupados por Estado. Obviamente existem variações entre os municípios, mas considera-se que esta imprecisão não afeta significativamente a modelagem do problema proposto.

Todos os fretes serão considerados como rodoviários, por se considerar que a escala inicial de produção não justifica a utilização de modais ferroviários ou hidroviários.

Serão consideradas fábricas de óleo com 3 capacidades distintas (para 10.000, 40.000 e 100.000 t/ano). Segundo BARROS; OSAKI (2006) a escala influi diretamente no custo por tonelada produzida neste processo. O mesmo raciocínio é válido para as usinas de produção de biodiesel. Serão simuladas instalações com 3 capacidades distintas (para 10.000, 40.000 e 100.000 t/ano). A cada escala de fábrica ou usina está associado um custo fixo anual e um custo variável de processamento (igual para todas as escalas).

A parte industrial será considerada como um processo não verticalizado, com a localização de fábricas e usinas realizada de forma independente. Como, entretanto, os municípios candidatos a sediar fábricas também serão candidatos a sediar usinas, a solução final pode indicar que a verticalização das instalações seja a melhor solução para o todo e/ou para partes.

A demanda de biodiesel, no cenário básico, foi considerada como sendo de 5% do consumo de óleo diesel para o mercado brasileiro (ano base 2006). A consideração de cenários de exportação é, entretanto, de fácil execução, bastando criar arcos entre as fábricas e os principais portos brasileiros e alocar uma demanda específica para estes pontos. Os mercados consumidores no exterior seriam representados como uma nova “base de distribuição”.

Considerou-se, no cenário básico, que os pontos de demanda serão as bases de distribuição já existentes, onde será realizada a mistura do biodiesel ao óleo diesel comum.

Não serão considerados estoques na cadeia e a demanda é considerada constante.

O ponto de vista analisado será o do investidor. Pretende-se obter ao final do processamento do modelo os locais mais indicados para instalação de fábricas e usinas, bem como da capacidade de cada indústria. Admite-se que ao se considerar a otimização da localização das instalações industriais com base na capacidade agrícola da região, o futuro empreendedor terá condições de obter matéria-prima a custos competitivos, quer seja por meio de cultivo próprio ou por meio de compras de terceiros (admite-se a capacidade de indução do empreendimento ao cultivo de oleaginosas em regiões de alta competitividade).

3.3. Modelo de programação linear proposto

O objetivo do modelo de programação linear será minimizar o custo total de produção de biodiesel. Objetiva-se definir ao final do processamento do modelo:

- 1) Locais mais promissores para produção de cada tipo de oleaginosa (menores custos totais);
- 2) Localização mais adequada para as novas fábricas de óleo;
- 3) Definição da capacidade de cada fábrica;
- 4) Localização mais adequada para as novas usinas de biodiesel;
- 5) Definição da capacidade de cada usina.

Notação que será utilizada:

Índices:

$i \rightarrow$ Índice das fábricas de óleo

$j \rightarrow$ Índice das usinas de biodiesel

$o \rightarrow$ Índice das espécies oleaginosas

$m \rightarrow$ Índice dos municípios

$q \rightarrow$ Índice da escala de produção das usinas de biodiesel

$n \rightarrow$ Índice da escala de produção das fábricas de óleo

$b \rightarrow$ Índice da demanda de biodiesel das bases de distribuição

Parâmetros do modelo:

$FXF_{in} \rightarrow$ Custo fixo de operação de uma fábrica produtora de óleo na localidade “i”, de nível “n”

$FXU_{jq} \rightarrow$ Custo fixo de operação de uma usina de biodiesel na localidade “j”, de nível “q”

$P_{om} \rightarrow$ Custo de produção da oleaginosa “o” no município “m” (R\$/ton)

$X_{om} \rightarrow$ Capacidade máxima anual de produção da oleaginosa “o” no município “m”

$T_{omi} \rightarrow$ Custo de transporte da oleaginosa “o” do município “m” para a fábrica de óleo “i” (R\$/ton)

$K_{oi} \rightarrow$ Custo de processamento de uma tonelada de oleaginosa “o” na fábrica “i”

$W_{ij} \rightarrow$ Custo de transporte de uma tonelada de óleo da fábrica “i” até a usina de biodiesel “j”

$Q_{oj} \rightarrow$ Custo de produção de 1 tonelada de biodiesel na usina “j” a partir de óleo da oleaginosa “o”

$C_{jb} \rightarrow$ Custo de transporte de 1 tonelada de biodiesel da usina “j” até a base de distribuição “b”

$D_b \rightarrow$ Demanda anual de biodiesel na base de distribuição “b”

$L_{in} \rightarrow$ Capacidade máxima de processamento da fábrica “i” no nível “n”

$QS_{jq} \rightarrow$ Capacidade máxima de processamento de óleo na usina “j” com nível “q”

$FO_{oi} \rightarrow$ Fator de conversão de óleo a partir da oleaginosa “o” na fábrica “i” (% óleo)

$E_{oj} \rightarrow$ Volume de biodiesel gerado a partir de 1 t de óleo da oleaginosa “o” na usina “j”

Variáveis de decisão do sistema

G_{omi} → Quantidade da oleaginosa “o” produzida no município “m” que é enviada à fábrica “i”

R_{oj} → Quantidade de óleo gerada a partir da oleaginosa “o” na fábrica “i” enviada até a usina “j”

S_{jb} → Quantidade de biodiesel enviado da usina “j” para a base de distribuição “b”

Z_{in} → Variável binária que indica se a fábrica “i” de nível “n” será aberta ou não

Y_{jq} → Variável binária que indica se a usina “j” de nível “q” será aberta ou não

O modelo proposto fica assim definido:

Min Z = Custo total de produção de biodiesel = P1+P2+P3+P4+P5+P6+P7+P8

Onde cada parcela é definida abaixo:

P1 = Custo total de produção das oleaginosas

$$P1 = \sum_{o=1}^O \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I G_{omi} * P_{om}$$

P2 = Custo total de transporte das oleaginosas até as fábricas de óleo

$$P2 = \sum_{o=1}^O \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I T_{omi} * G_{omi}$$

P3 = Custo total de produção de óleo nas fábricas

$$P3 = \sum_{o=1}^O \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N K_{oi} * G_{omi}$$

P4 = Custo total de transporte entre as fábricas de óleo e as usinas de biodiesel

$$P4 = \sum_{o=1}^O \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I R_{oij} * W_{ij}$$

P5 = Custo total de produção de biodiesel na usina

$$P5 = \sum_{i=1}^I \sum_{o=1}^O \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^Q O_{oj} * R_{oij}$$

P6 = Custo total de transporte das usinas até as bases de distribuição

$$P6 = \sum_{j=1}^J \sum_{b=1}^B S_{jb} * C_{jb}$$

P7 = Custo Fixo das fábricas de óleo que serão instaladas

$$P7 = \sum_{i=1}^I \sum_{n=0}^N Z_{in} * F_{XF_{in}}$$

P8 = Custo Fixo das usinas de biodiesel que serão instaladas

$$P8 = \sum_{j=1}^J \sum_{q=0}^Q Y_{jq} * F_{XU_{jq}}$$

A função de minimização acima fica sujeita às seguintes restrições (abaixo de cada uma delas uma interpretação do significado da equação).

$$1) \sum_{i=1}^I G_{omi} \leq X_{om} \quad \text{para: } o=1,2,3 \dots O \text{ e } m=1,2,3 \dots M$$

Interpretação: A quantidade total (toneladas) de oleaginosa “o” enviada do município “m” para todas as fábricas “i” tem que ser menor ou igual a capacidade máxima de produção dada pelo zoneamento agrícola para cada oleaginosa “o” no município “m”.

$$2) \sum_{o=1}^O \sum_{m=1}^M G_{omi} * FO_{oi} \leq \sum_{n=1}^N L_{in} * Z_{in} \quad \text{para: } i=1,2,3 \dots I$$

Interpretação: A quantidade total (toneladas) de oleaginosa “o” enviada de todos os municípios “m” para cada fábrica “i” multiplicada pelo fator de produção de óleo, tem que ser menor ou igual a capacidade máxima de processamento de cada fábrica “i” no nível “n”

$$3) \sum_{n=1}^N Z_{in} = 1 \quad \text{para cada } i=1,2,3 \dots I$$

Interpretação: Somente uma fábrica será aberta em cada local candidato “i”. No nível um a capacidade da instalação é igual a zero (por isso a igualdade na equação).

$$4) \sum_{j=1}^J R_{oj} = \sum_{m=1}^M G_{omi} * FO_{oi} \quad \text{para: } o=1,2,3 \dots O \text{ e } i=1,2,3 \dots I$$

Interpretação: A quantidade total de óleo de cada oleaginosa (toneladas) “o” enviada a partir de cada fábrica “i” para todas as usinas “j” tem que ser igual à quantidade de cada oleaginosa “o” recebida em cada fábrica “i” multiplicada pelo fator de óleo “o” obtido em cada fábrica “i”.

$$5) \sum_{o=1}^O \sum_{i=1}^I R_{oij} \leq \sum_{q=1}^Q (QS_{jq} * Y_{jq}) \quad \text{para cada } j=1,2,3 \dots J$$

Interpretação: A quantidade total de óleo de cada oleaginosa (toneladas) “o” enviada de todas as fábricas “i” para cada usina “j” tem que menor ou igual à capacidade máxima de processamento de óleo da oleaginosa “o” em cada usina “j” com capacidade “q”.

$$6) \sum_{q=1}^Q Y_{jq} = 1 \quad \text{para cada } j=1,2,3 \dots J$$

Interpretação: Somente uma usina será aberta em cada local candidato “j”. No nível um a capacidade da instalação é igual a zero (por isso a igualdade na equação).

$$7) \sum_{b=1}^B S_{jb} = \sum_{o=1}^O \sum_{i=1}^I (R_{oij} * E_{oj}) \quad \text{para cada } j=1,2,3 \dots J$$

Interpretação: A quantidade total de biodiesel (toneladas) enviada de cada usina “j” para todas as bases “b” tem que ser igual a quantidade total de óleo de todas as oleaginosas “o” recebidas de todas as fábricas “i” multiplicado pelo rendimento de cada óleo “o” em cada usina “j”.

$$8) \sum_{j=1}^J S_{jb} = D_b \quad \text{para cada } b=1,2,3 \dots B$$

Interpretação: A quantidade total de biodiesel (toneladas) enviada de todas as usinas “j” para cada base “b” tem que ser igual à demanda de biodiesel de cada base.

$$9) G_{omi} \geq 0$$

$$10) R_{oij} \geq 0$$

$$11) S_{jb} \geq 0$$

Interpretação das equações 9, 10 e 11: Não negatividades dos fluxos das variáveis de decisão

Variáveis binárias

$$12) \left\{ \begin{array}{l} Z_{in} = 0, \text{ se a fábrica de óleo "i" de ordem "n" NÃO for instalada} \\ \text{ou} \\ Z_{in} = 1, \text{ se a fábrica de óleo "i" de ordem "n" FOR instalada} \end{array} \right.$$

$$13) \left\{ \begin{array}{l} Y_{jq} = 0, \text{ se a usina de biodiesel "j" de ordem "q" NÃO for instalada} \\ \text{ou} \\ Y_{jq} = 1, \text{ se a usina de biodiesel "j" de ordem "q" FOR instalada} \end{array} \right.$$

Interpretação das equações 12 e 13: As variáveis assumem o valor 1 se a fábrica/usina for aberta.

4. Apresentação dos parâmetros do modelo

Neste capítulo serão descritas as fontes de dados e os métodos de cálculo utilizados para obtenção dos parâmetros do modelo matemático.

Os parâmetros necessários para o processamento do modelo são:

- 1) Definição da unidade geográfica mínima para o modelo e a localização (latitude e longitude);
- 2) Capacidade anual de produção de cada oleaginosa em cada município;
- 3) Custo de produção de cada oleaginosa;
- 4) Capacidade de processamento das fábricas de óleo, em cada escala;
- 5) Capacidade de processamento de biodiesel nas usinas, em cada escala;
- 6) Custo de transporte das oleaginosas dos municípios até as fábricas de óleo;
- 7) Custo de processamento de uma tonelada de oleaginosa nas fábricas;
- 8) Custo de transporte de uma tonelada de óleo da fábrica até as usinas;
- 9) Custo de produção de biodiesel;
- 10) Cotas geográficas das bases de distribuição de combustíveis (pontos de demanda);
- 11) Custo de transporte de biodiesel da usina até a base de distribuição;
- 12) Demanda anual de biodiesel nas bases de distribuição;
- 13) Fatores de conversão de óleo a partir de cada oleaginosa;
- 14) Volume de biodiesel gerado a partir de 1 tonelada de óleo de cada oleaginosa;
- 15) Definição das localizações candidatas para as fábricas de óleo;
- 16) Definição das localizações candidatas para as usinas de biodiesel;
- 17) Custo fixo de operação de uma fábrica produtora de óleo;
- 18) Custo fixo de operação de uma usina de biodiesel

4.1. Definição da unidade geográfica mínima

A unidade geográfica mínima considerada é o município. São, portanto, 5.564 origens possíveis para as matérias-primas oleaginosas e o índice “i” pertence ao seguinte conjunto:

$$i \in \{1,2,3...5564\}$$

A relação completa dos municípios brasileiros, bem como sua localização geográfica foi obtida no site do IBGE (2007) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O instituto considera a localização do agrupamento urbano central para definição dos parâmetros de latitude e longitude.

4.2. Capacidade máxima anual de produção de cada oleaginosa em cada município

Neste tópico, define-se qual o potencial de produção de oleaginosas em cada município do país, a partir do zoneamento agrícola. O potencial é definido a partir de características como altitude, temperatura média, índices pluviométricos e topografia, considerando-se ainda os índices de conservação ambiental necessários em cada região.

Para o cálculo deste parâmetro, são necessários os seguintes dados:

- 1) Municípios aptos a produzir cada oleaginosa;
- 2) Área máxima que pode ser destinada a cada oleaginosa em cada município;
- 3) Produtividade média por município

4.2.1. Municípios aptos a produzir as oleaginosas

As fontes de informação utilizadas foram:

- a) Zoneamento para safra 2007/2008 do Ministério da Agricultura (2007), disponível na internet;
- b) Zoneamento para o dendê no Pará, realizado por BASTOS et al (2001);

O zoneamento do Ministério da Agricultura indica para cada Estado e para cada cultura, os municípios aptos para a produção, bem como a época mais indicada para semeadura.

4.2.2. Área máxima que pode ser destinada a cada oleaginosa

Foram considerados os seguintes critérios para o cálculo da área máxima de cultivo de cada produto:

- a) Área total do município (IBGE - Resolução num. 5 de 10/10/2002) ;
- b) Percentual de preservação obrigatória para cada região (80% na região amazônica e 20% no centro-sul e nordeste);
- c) Limite máximo de área de cada região ocupado por uma oleaginosa (no cenário básico foi considerado um percentual máximo de 10% da área apta a agricultura em cada município - este parâmetro será alterado na construção dos cenários alternativos);

A fórmula matemática utilizada foi:

$$\text{Área máxima} = \text{Área Total (ha)} \times (1 - \% \text{ de preservação}) \times \% \text{ máximo para cada cultura}$$

4.2.3. Produtividade média por município

Os dados de produtividade dos grãos foram obtidos no site da CONAB (2008a) (Companhia nacional de abastecimento). Considerou-se a produtividade média obtida em cada Estado, para cada oleaginosa.

Para o caso da cultura de dendê, em virtude da indisponibilidade de dados na CONAB, optou-se por utilizar os dados do IBGE constantes na pesquisa de Produção Agrícola Municipal (1990-2006), disponível no site da instituição - IBGE (2007).

Foram utilizados para o cálculo da média os valores relativos às safras compreendidas entre 1999/2000 e 2006/2007 (as informações relativas a 8 períodos contribuem para evitar grandes desvios que possam ter ocorrido por fatores climáticos excepcionais).

Os dados para cada Estado foram extrapolados para todos os municípios pertencentes ao mesmo. Obviamente esta generalização introduz um fator de erro no modelo, por ser notória a variação de produtividade entre algumas regiões. Acredita-se, entretanto, que este fator não afetará substancialmente os resultados do trabalho.

A partir dos 3 itens anteriores, foi calculado o limite máximo de produção de oleaginosa por município utilizando-se a seguinte fórmula:

$$X_{om} = \text{Produção máxima} = \text{Área máxima} \times \text{produtividade do município para cada oleaginosa}$$

4.3. Custos de produção de oleaginosas

O custo das oleaginosas pode ser calculado por dois métodos:

- a) A partir do custo de produção agrícola;
- b) A partir das cotações dos produtos agrícolas aos valores de mercado;

Ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens.

O insumo necessário para produção do biodiesel (óleo vegetal) encontra-se em um contexto de competição internacional com outras utilizações potenciais dos óleos como, por exemplo, o consumo humano. Sendo assim, a utilização de cotações internacionais pode levar a um erro grande por ser ainda incerto como o mercado se comportará com o aumento de demanda desta matéria-prima para outras finalidades. Se os investimentos na produção ficarem aquém do necessário para acompanhar o aumento de demanda de óleos, o mercado tende a ter preços de referência sobre valorizados e que não se manterão ao longo do tempo.

Este fator já interfere atualmente nos valores da soja no mercado internacional, não devido à demanda por óleo, mas devido ao aumento de demanda do milho para produção de outro biocombustível (o etanol). Entre 2006 e 2007 os valores da soja estão aproximadamente 40% acima de seus níveis históricos, pois os agricultores americanos têm realocado suas terras para produção de milho em prejuízo das áreas destinadas a soja. Este fato está comprimindo a oferta do produto, levando ao aumento do valor de referência pelo desequilíbrio do mercado.

No caso do biodiesel deve ocorrer o mesmo, principalmente em um primeiro momento, em que a soja é a oleaginosa com maior produção no Brasil e com a cadeia de produção mais ajustada. Assim, este deve ser o produto mais consumido no início, sendo sua produção substituída por produtos mais econômicos ao longo do tempo.

Por outro lado, a utilização dos custos de produção pode levar à redução artificial do preço do produto final, pois elimina a remuneração sobre o capital esperada da fase agrícola (lucro do produtor agrícola).

Como o objetivo deste trabalho é localizar as instalações nos locais onde a produtividade da cadeia seja maior, e não a aferição da competitividade do biodiesel frente ao óleo diesel, acredita-se que o mais adequado seja a utilização dos custos de produção agrícola e não os valores internacionais dos óleos. Na realidade, se o custo de produção for muito menor que o preço de referência, haverá um grande estímulo à verticalização da cadeia produtiva e os grupos empresariais tenderão a atuar também na fase agrícola (nessa situação, o custo de aquisição se equipará ao custo de produzir).

Os custos de produção de soja, algodão e dendê foram baseados nas estimativas realizadas pela CONAB (2008b) para algumas cidades representativas no Brasil. Os valores em reais referem-se à safra 2008/2009.

O levantamento inclui todos os custos de produção, tais como: custos de capital sobre ativos, custos de insumos, custos de mão-de-obra, despesas financeiras, armazenagem etc. O quadro da próxima página mostra a fórmula de cálculo adotada pela CONAB para um caso particular.

Para a soja foram obtidos os custos relativos a nove Estados, para o caso do algodão os custos de quatro Estados, e para o dendê o custo de apenas uma cidade. Para as demais regiões, aptas a produzir a oleaginosa, e para as quais não há dados disponíveis na CONAB, foram extrapolados os custos de regiões próximas com características similares de produção (grau de tecnologia e clima semelhantes).

A tabela 1 detalha a metodologia de custeio adotada pela CONAB:

Tabela 1: Custo detalhado de produção de algodão na cidade de Barreiras na safra 2008/2009
Fonte: CONAB (2008b)

CUSTO DE PRODUÇÃO ESTIMADO			
ALGODÃO - PLANTIO CONVENCIONAL			
SAFRA DE VERÃO 2008/2009			
LOCAL: BARREIRAS-BA			
Produtividade Média:		3.750 kg/ha	
DISCRIMINAÇÃO	A PREÇOS DE:	31-jan-08	PARTICI- PAÇÃO
	(R\$/ha)	R\$/15 kg	(%)
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA			
1 - Operação com avião	0,00	0,00	0,00%
2 - Operação com máquinas	404,28	1,61	7,50%
3 - Aluguel de máquinas/serviços	0,00	0,00	0,00%
4 - Mão-de-obra temporária	108,10	0,41	2,01%
5 - Mão-de-obra fixa	34,20	0,12	0,63%
6 - Sementes	86,40	0,35	1,60%
7 - Fertilizantes/corretivos	730,16	2,92	13,54%
8 - Defensivos	1.226,47	4,99	22,75%
9 - Outras Despesas (touca, armadilhas, etc.)	11,84	0,05	0,22%
Total das Despesas de Custeio da Lavoura (A)	2.601,45	10,45	48,25%
II - DESPESAS PÓS-COLHEITA			
1 - Seguro da produção	101,46	0,41	1,88%
2 - Assistência técnica	52,03	0,21	0,97%
3 - Transporte externo	48,75	0,20	0,90%
4 - Beneficiamento	477,75	1,91	8,86%
5 - Armazenagem	877,50	3,51	16,28%
Total das Despesas Pós-Colheita (B)	1.557,49	6,24	28,89%
III - DESPESAS FINANCEIRAS			
1 - Juros	188,87	0,75	3,50%
Total das Despesas Financeiras (C)	188,87	0,75	3,50%
CUSTO VARIÁVEL (A+B+C = D)	4.347,81	17,44	80,64%
IV - DEPRECIAÇÕES			
1 - Depreciação de benfeitorias/instalações	349,75	1,40	6,49%
2 - Depreciação de implementos	113,72	0,45	2,11%
3 - Depreciação de máquinas	126,38	0,51	2,34%
Total de Depreciações (E)	589,85	2,36	10,94%
V - OUTROS CUSTOS FIXOS			
1 - Manutenção periódica de máquinas/implementos	96,71	0,39	1,79%
2 - Encargos sociais	20,18	0,08	0,37%
3 - Seguro do capital fixo	12,59	0,05	0,23%
Total de Outros Custos Fixos (F)	129,48	0,52	2,40%
Custo Fixo (E+F = G)	719,33	2,88	13,34%
CUSTO OPERACIONAL (D+G = H)	5.067,14	20,32	93,98%
VI - RENDA DE FATORES			
1 - Remuneração esperada sobre capital fixo	172,96	0,69	3,21%
2 - Terra	151,41	0,61	2,81%
Total de Renda de Fatores (I)	324,37	1,30	6,02%
CUSTO TOTAL (H+I = J)	5.391,51	21,62	100,00%

Elaboração: CONAB/DIGEM/SUINF/GECUP

Para o girassol utilizou-se o custo médio de produção estimado pela EMBRAPA OESTE (2007). Em função da indisponibilidade de valores específicos, considerou-se o mesmo valor para todos os Estados.

Por último, para a cultura da mamona foram utilizados os dados da EMBRAPA CLIMA TEMPERADO (2007) para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e para o Estado de Tocantins (custos para o sistema empresarial). Para os Estados do Nordeste, utilizou-se a informação da EMBRAPA ALGODÃO (2007) para o plantio em condições de sequeiro.

4.4. Capacidade máxima de produção nas fábricas de óleo em cada escala

São adotadas neste trabalho 3 escalas para as fábricas de óleo:

- a) 10.000 t/ano
- b) 40.000 t/ano
- c) 100.000 t/ano

Segundo BARROS;OSAKI (2006) a definição dessas escalas de produção foi baseada nos módulos recomendados por um dos fabricantes de equipamentos industriais para fábricas de biodiesel – a Dedini S/A Indústrias de Base.

O critério adotado foi o de se trabalhar com escalas diferenciadas que possibilitem a aferição da redução real de custo por tonelada produzida. Assim, a menor capacidade (10 mil toneladas) seria o mínimo para se ter um processo industrial com preços competitivos, enquanto que a maior capacidade (100 mil toneladas) seria a escala a partir da qual não há grandes ganhos nos custos por tonelada com acréscimos na capacidade. A capacidade intermediária é utilizada para se analisar o comportamento em um ponto médio do segmento inicialmente traçado.

A variável “n” tem, portanto, 4 componentes e o conjunto N é definido por:

$$n \in \{1,2,3,4\}$$

O nível 1 representa a capacidade zero, ou seja, o modelo não seleciona aquela localidade para instalação de uma fábrica.

4.5. Capacidade máxima de produção nas usinas de biodiesel em cada escala

São adotadas para as fábricas de biodiesel as mesmas escalas utilizadas para as fábricas de óleo. São, portanto, 3 alternativas com as seguintes capacidades: 10.000, 40.000 e 100.000 toneladas por ano.

A variável “q” tem, portanto, 4 componentes e o conjunto Q é definido por:

$$q \in \{1,2,3,4\}$$

O nível 1 representa a capacidade zero, ou seja, o modelo não seleciona aquela localidade para instalação de uma usina.

4.6. Custos de transporte de oleaginosas dos municípios até as fábricas de óleo

Para a definição dos custos de transporte entre os municípios e as fábricas de óleo é necessário o cálculo de dois valores:

- a) distância entre cada município e as possíveis fábricas de óleo;
- b) custo de transporte de cada segmento (R\$/t x km)

O cálculo do primeiro item foi feito com base na latitude e longitude de cada cidade e das fábricas potenciais (vide critérios de seleção das localidades no item 4.14).

Segundo BALLOU (2.001) o cálculo pode ser feito utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Distância = 3.959 * 1,61 * Arc \cos \{ [sen(LatA) * sen(LatB)] + [cos(LatA) * cos(LatB) * cos(|LongA - LongB|)] \}$$

Onde:

3.959 → Constante

1,61 → Constante utilizada para conversão da distância de milhas para km

LatA → Latitude da origem em radianos

LatB → Latitude do destino em radianos

LongA → Longitude da origem em radianos

LongB → Longitude do destino em radianos

A distância acima é calculada em km, utilizando-se as coordenadas esféricas. Segundo BALLOU (2001) é necessário utilizar-se um fator de correção para transformar a distância linear calculada para distâncias rodoviárias. O mesmo autor sugere um índice de 1,14 para a realidade americana (rede rodoviária muito desenvolvida e com alta densidade).

Considerou-se neste trabalho que a realidade brasileira difere bastante da americana e optou-se por utilizar um fator de 1,24 para realizar a conversão. Este parâmetro foi obtido do trabalho de SILVA (2007). Segundo este autor, este fator foi calculado na conversão de distâncias esféricas para distâncias rodoviárias no estudo de localização de centros de distribuição no Brasil. Apesar da abrangência territorial ser distinta da estudada nesta dissertação, acredita-se que ela represente melhor a situação brasileira que o parâmetro estimado por BALLOU (2001).

A equação final fica, portanto:

$$Distância(*) = 3.959 * 1,61 * Arc \cos \{ [sen(LatA) * sen(LatB)] + [\cos(LatA) * \cos(LatB) * \cos(|LongA - LongB|)] \} * 1,24$$

Distância(*) → Denomina distância corrigida para se ajustar a malha rodoviária.

Para aferição do custo de transporte por t x km foram utilizadas as equações desenvolvidas por GAMEIRO (2003) – constantes no ANEXO A do referido trabalho - corrigido pela inflação oficial brasileira no período (IPCA).

Neste estudo, o autor comprova (através de dados reais obtidos no sistema SIFRECA) que os fretes rodoviários não são dependentes apenas da distância percorrida, mas também de outro dois fatores adicionais:

- a) Faixa de distância;
- b) Par (origem → destino)

GAMEIRO (2003) demonstra que os custos de transporte [R\$/ $(t \times km)$] para as menores distâncias são mais elevados devido à diluição dos custos fixos se dar sobre uma base reduzida.

O mesmo autor conclui que o par origem-destino influencia diretamente o custo do frete, ao testar a influência da variação destes parâmetros sobre os preços reais praticados. CASTRO (2003) comprova que esta influência decorre sobretudo de 3 fatores:

- A qualidade das estradas que são utilizadas na rota;
- Possibilidade de obtenção de frete de retorno;
- Existência ou não de concorrência com outros modais;

Apesar da importância comprovada do par origem-destino na definição do preço do frete rodoviário, em função da indisponibilidade de dados públicos confiáveis, acerca dos preços reais praticados em cada rota, optou-se por considerar os preços como dependentes apenas da distância. Acredita-se que esta imprecisão acrescentada ao modelo não implica sua inviabilidade na definição da melhor localização das instalações.

Foram consideradas as equações de jan/01 a dez/01, corrigidas mensalmente pelo IPCA até o mês de dezembro de 2007 (conforme tabela 2). Após a correção foi calculada a média dos preços mensais.

Tabela 2: Equações para cálculo de frete R\$/txkm
Fonte: GAMEIRO (2003)

Mês	Equação original	Índice de correção
Jan/2001	$F = 0,2363 * d^{-0,2470}$	61,34%
Fev/2001	$F = 0,2234 * d^{-0,2332}$	60,60%
Mar/2001	$F = 0,2909 * d^{-0,2427}$	59,99%
Abr/2001	$F = 0,3539 * d^{-0,2763}$	59,07%
Mai/2001	$F = 0,3597 * d^{-0,2970}$	58,42%
Jun/2001	$F = 0,2856 * d^{-0,2583}$	57,60%
Jul/2001	$F = 0,2608 * d^{-0,2363}$	55,53%
Ago/2001	$F = 0,2640 * d^{-0,2338}$	54,45%
Set/2001	$F = 0,2665 * d^{-0,2408}$	54,02%
Out/2001	$F = 0,2529 * d^{-0,2425}$	52,75%
Nov/2001	$F = 0,1579 * d^{-0,1720}$	51,68%
Dez/2001	$F = 0,1942 * d^{-0,1937}$	50,70%

Onde:

F → Preço do frete em R\$/t x km

d → Distância rodoviária entre dois pontos

A utilização de um período de doze meses é consequência da ociosidade presente no mercado de fretes rodoviários de cargas agrícolas. Nos períodos de concentração de safras, dada a alta demanda por veículos, os preços são inflacionados, ocorrendo o contrário nos períodos de entressafra. Ao se calcular a média anual, procura-se reduzir a imprecisão.

O custo de transporte é definido, portanto, como:

$$T_{omi} = Distância(*) \times Custo \quad transporte \quad segmento$$

Em função da restrição de dados disponíveis para diferentes produtos agrícolas por rota, optou-se por considerar os custos de transportes [R\$/(t x km)] para todas as matérias-primas oleaginosas como sendo o mesmo (baseado no caso da soja em grão).

4.7. Custos de produção de óleo

Foram consideradas neste item 3 alternativas de fábricas de óleo, com diferentes capacidades produtivas: 10.000, 40.000 e 100.000 t/ano. Neste item trata-se exclusivamente dos custos variáveis de produção, sendo os custos fixos abordados no item 4.17.

Os custos variáveis foram considerados os mesmos para as três escalas.

É importante mencionar que este item trata apenas dos custos industriais de produção de óleo (R\$/t óleo). As receitas dos subprodutos vendidos para cada oleaginosa (torta/farelo) serão descontadas do custo de produção das oleaginosas (parâmetro Pom).

Os valores da fase industrial foram obtidos do trabalho da PETROBIO (2005). A Petrobio é uma empresa fabricante de equipamentos para extração de óleo e produção de Biodiesel.

Os valores originais são de Dez/2005 e foram atualizados pelo IPCA até Dez/ 2007. A tabela 3 apresenta os valores considerados para cada oleaginosa:

Tabela 3: Custo variável de extração de óleo para as diversas oleaginosas
Fonte: Adaptado de PETROBIO (2005)

		Dendê	Algodão	Girassol	Mamona	Soja
1	Custo de extração 1 t de óleo (R\$/t)	R\$ 102,92	R\$ 54,61	R\$ 63,71	R\$ 60,82	R\$ 140,84
2	% óleo	17%	16%	39%	42%	19%
3 = Item 1 x Item 2	Custo de processamento de 1 t de oleaginosa (R\$/t)	17,50	8,74	24,85	25,54	26,76
	IPCA acumulado até dez/2007	7,73921%				
	Custo de processamento atualizado(base dez/2007) - R\$/t	18,85	9,41	26,77	27,52	28,83

Fonte: Adaptado de PETROBIO (2005)

Os valores são considerados os mesmos independentemente da localização da fábrica.

4.8. Custos de transporte entre as fábricas e as usinas de biodiesel

O método de cálculo é semelhante ao utilizado no item 4.4 (transporte entre municípios e fábricas de óleo).

Para o cálculo das distâncias entre as fábricas e as usinas de biodiesel (para cada localização candidata) utilizou-se a mesma metodologia do item anterior. Os custos de transporte [R\$/(t x km)], entretanto, foram calculados de forma diferenciada, para representar adequadamente a variação de custos entre o transporte de cargas em grãos e cargas líquidas.

Foram utilizados os dados do SIFRECA (2007) para se aferir a diferença percentual entre o frete de óleo em tanques de aço carbono e frete em carretas graneleiras. O percentual encontrado foi aplicado sobre as tabelas de custos do item 4.4 para se encontrar os custos de frete no transporte de óleo.

Os dados utilizados referem-se ao período de 26/05/2007 a 22/06/2007. Os valores médios do momento de transporte para óleo e soja em grão são, respectivamente, 0,2747 e 0,1304 [R\$/(t x km)]. O índice multiplicador é, portanto, 2,11.

4.9. Custo de produção de biodiesel nas usinas

O biodiesel pode ser produzido através de duas tecnologias principais: o craqueamento e a transesterificação. VIANNA (2006) faz um levantamento sobre as alternativas tecnológicas para a produção de biodiesel.

Segundo VIANNA (2006), o craqueamento é a transformação de uma substância em outra por aquecimento na ausência de ar ou oxigênio, utilizando-se substâncias catalisadoras. O produto resultante é destilado para obtenção de algumas fases, uma das quais, o biodiesel. Segundo o mesmo autor, esse processo se mostra inviável economicamente devido ao elevado consumo de energia e à grande sofisticação dos equipamentos (investimento muito elevado).

Segundo VIANNA (2006), a transesterificação é uma reação química entre um óleo ou uma gordura com um álcool simples de cadeia curta na presença de um catalisador ácido ou básico. O resultado da reação é um ester (biodiesel), tendo como subproduto a glicerina.

O processo de transesterificação pode ser realizado com duas rotas tecnológicas: a metílica e a etílica. No primeiro caso utiliza-se o metanol como insumo principal do processo e no segundo caso o etanol.

Apesar da alta disponibilidade de etanol no Brasil, a rota tecnológica que têm apresentado melhor desempenho tem sido a metílica [PENTEADO (2005), DEDINI (2007) e PARENTE (2003)].

Segundo PARENTE (2003), a rota metílica apresenta as seguintes vantagens em relação à etílica:

- a) O consumo de metanol no processo de transesterificação é cerca de 45% menor que do etanol anidro;
- b) Para uma mesma taxa de conversão, o tempo da reação química é a metade no caso da rota metílica;
- c) Considerando a mesma produção de biodiesel, o consumo de vapor na rota metílica é cerca de 20% do consumo na rota etílica, e o consumo de eletricidade é menos da metade.

Por outro lado, o metanol é um produto muito tóxico, não renovável e de disponibilidade limitada no Brasil.

Neste trabalho são utilizados os custos da rota metílica, por ser esta a mais competitiva atualmente.

Os principais insumos utilizados na reação, e suas respectivas quantidades, estão listados na figura 4, adaptada de DEDINI (2007).

Fonte: DEDINI (2.007)

Figura 4: Quantidade de insumos necessários e rendimento da reação de transesterificação
Fonte: DEDINI (2007)

Tendo-se como finalidade a simplificação dos cálculos, foi considerado o consumo de 1000 kg de óleo vegetal para se obter 1000 kg de biodiesel (a relação técnica precisa é de 997 kg de óleo para produzir 1000 kg de biodiesel).

Foram utilizados os custos informados em PETROBIO (2005). Os valores originais forma convertidos para Dez/2007 utilizando-se o IPCA acumulado no período. Nas três escalas de produção analisadas o custo se mantém estável.

Tabela 4: Custo do processo de transesterificação
Fonte: Adaptado de PETROBIO (2005)

	Dendê	Algodão	Girassol	Mamona	Soja
Custo de produção de 1 t de biodiesel	72,53	72,53	72,53	72,53	72,53
IPCA acumulado até dez/2007	7,73921%				
Custo de processamento atualizado(base dez/2007) - R\$/t	78,14	78,14	78,14	78,14	78,14

Fonte: Adaptado de PETROBIO (2005)

Os custos são considerados os mesmos para todas as localidades potenciais definidas para instalação das usinas.

4.10. Cotas geográficas das bases de distribuição (pontos de demanda)

Segundo a ANP (2007) (Agência Nacional do Petróleo), existia em julho/2007 um total de 256 empresas habilitadas a distribuir combustíveis líquidos no Brasil.

O mercado, entretanto, é concentrado em poucas empresas, sendo as 11 companhias associadas ao Sindicom (Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes) responsáveis por 77% do mercado total de combustíveis líquidos [SINDICOM (2007)]. No caso específico do óleo diesel, essas distribuidoras são responsáveis por 82,5% do mercado (base fev/2007).

Neste estudo será considerado que as bases das associadas ao Sindicom representam os pontos de demanda. Isto se faz com o objetivo de se reduzir o número de variáveis do modelo matemático. Ao se considerar 256 empresas, o número de pontos de demanda será pelo menos duplicado, para acrescentar a distribuição de um volume adicional muito reduzido (apenas 17,5% do total). Além disso, existe grande sobreposição de localidades com uma base do Sindicom e com bases menores dos concorrentes (geralmente localizadas próximas das refinarias ou terminais da Petrobrás).

Os volumes comercializados, obtidos do site da ANP (2007b), foram alocados integralmente para as 80 localidades que sediam bases de distribuição das associadas ao SINDICOM.

A figura 5 mostra as bases de distribuição das empresas filiadas ao SINDICOM existentes em todo o território brasileiro em julho/2007. Serão utilizadas as cidades onde as mesmas estão instaladas para se chegar às cotas geográficas dos pontos de demanda. O mapa foi extraído do site do SINDICOM (2007).

Figura 5: Mapa com a localização das bases de distribuição de petróleo das filiadas ao SINDICOM
Fonte SINDICOM (2007)

4.11. Custo de transporte entre as usinas de biodiesel e as bases de distribuição

Para determinação dos custos de transporte entre os municípios candidatos a sediar uma usina e as bases de distribuição, será adotado o mesmo procedimento dos itens anteriores relativos a custos de transporte: determinar primeiramente a distância entre as origens e destinos e posteriormente um custo por momento de transporte [R\$/t.km] para cada rota.

As origens (usinas de biodiesel potenciais) e os destinos (bases de distribuição) foram definidos nos itens anteriores. Assim, a partir da cidade em que a instalação está sediada, chega-se às coordenadas de latitude e longitude.

Utilizou-se o mesmo método de cálculo demonstrado no item 4.4 para se chegar a distância em quilômetros entre as origens e os destinos. Considerou-se transporte rodoviário entre as usinas e as bases de distribuição.

Os custos de transporte entre as bases de distribuição e os consumidores finais não serão considerados, por admitir-se que a partir da mistura biodiesel-diesel os custos globais passem a ser os do sistema de distribuição nacional de combustíveis, assunto que não será abordado neste trabalho.

Para os momentos de transporte foram utilizadas as mesmas taxas [R\$/ (t x km)] informadas no item 4.6 acima (custo de transporte entre fábricas de óleo e usinas de biodiesel).

4.12. Consumo nacional de óleo diesel

Neste item será caracterizada a demanda projetada para o biodiesel quando o percentual obrigatório de mistura atingir 5%. A demanda será determinada por base de distribuição (instalações que agrupam as demandas de todos os combustíveis de uma área geográfica próxima). A tabela 5 apresenta o consumo de óleo diesel por estado da federação no ano de 2006 em metros cúbicos.

Tabela 5: Consumo de óleo diesel no Brasil em 2006
Fonte: Adaptado de estudo da ANP (jul/2007)

Estados	Consumo de diesel (m3 em 2.006)	Estimativa consumo biodiesel (B-5) (m3)	% sobre total do país
Brasil	36.730.594	1.836.530	
Nordeste	5.277.700	263.885	14,4%
Maranhão	660.536	33.027	
Piauí	285.534	14.277	
Ceará	539.157	26.958	
Rio Grande do Norte	351.847	17.592	
Paraíba	315.344	15.767	
Pernambuco	736.303	36.815	
Alagoas	285.625	14.281	
Sergipe	211.289	10.564	
Bahia	1.892.065	94.603	
Norte	3.417.888	170.894	9,3%
Rondônia	637.180	31.859	
Acre	129.415	6.471	
Amazonas	703.769	35.188	
Roraima	52.536	2.627	
Pará	1.310.603	65.530	
Amapá	145.083	7.254	
Tocantins	439.303	21.965	
Centro-Oeste	4.079.366	203.968	11,1%
Mato Grosso do Sul	788.425	39.421	
Mato Grosso	1.465.365	73.268	
Goiás	1.494.150	74.708	
Distrito Federal	331.426	16.571	
Sudeste	16.575.328	828.766	45,1%
Minas Gerais	5.071.671	253.584	
Espírito Santo	777.381	38.869	
Rio de Janeiro	2.038.671	101.934	
São Paulo	8.687.605	434.380	
Sul	7.380.311	369.016	20,1%
Paraná	3.387.841	169.392	
Santa Catarina	1.659.951	82.998	
Rio Grande do Sul	2.332.519	116.626	

Fonte: Adaptado de estudo da ANP (Jul/2007)

Pode-se verificar uma grande concentração do consumo nos Estados do Sudeste. Entretanto, o grande potencial de produção de óleos vegetais a baixo custo está nas outras regiões do país. Assim, a otimização logística ganha grande destaque no planejamento das fábricas que terão que ser instaladas para atender à demanda futura.

A partir de informações do site da Agência Nacional do Petróleo (2007b) obteve-se o consumo de óleo diesel por município do país. A informação sobre a fonte de abastecimento (base de distribuição) de cada unidade territorial, entretanto, não é uma informação disponível publicamente.

A base de origem foi determinada neste trabalho, considerando-se a distância de cada município até as 80 cidades que são sede de bases de distribuição. Definiu-se que a base supridora de combustível será aquela que estiver mais próxima do município de destino.

A tabela 6 mostra os pontos de demanda e os volumes que serão considerados na solução do modelo.

Tabela 6: Demanda de óleo diesel e biodiesel por base de distribuição
Fonte: Adaptado de Agência Nacional do Petróleo (2007b)

Número	Base de origem	Consumo óleo diesel (m3)	Consumo biodiesel (m3)
1	Betim-MG	2.418.647,24	120.932,36
2	Paulínia-SP	1.582.681,05	79.134,05
3	São Paulo-SP	1.576.844,69	78.842,23
4	Araucária-PR	1.425.685,99	71.284,30
5	Ribeirão Preto-SP	1.171.810,68	58.590,53
6	Duque de Caxias-RJ	1.121.916,10	56.095,81
7	São José do Rio Preto-SP	1.004.545,17	50.227,26
8	Barueri-SP	949.987,26	47.499,36
9	Goiânia-GO	927.912,36	46.395,62
10	Rio de Janeiro-RJ	797.272,83	39.863,64
11	Cuiabá-MT	793.173,70	39.658,68
12	São José dos Campos-SP	762.127,21	38.106,36
13	Uberlândia-MG	711.560,81	35.578,04
14	Cascavel-PR	663.513,08	33.175,65
15	Brasília-DF	660.194,12	33.009,71
16	Esteio-RS	618.883,72	30.944,19
17	Vitória-ES	616.470,77	30.823,54
18	Passo Fundo-RS	601.882,75	30.094,14
19	Marabá-PA	579.879,40	28.993,97
20	Manaus-AM	572.723,22	28.636,16
21	Campo Grande-MS	567.118,60	28.355,93
22	Gurupi-TO	561.529,78	28.076,49
23	Canoas-RS	556.655,59	27.832,78
24	Maringá-PR	535.318,59	26.765,93
25	Belém-PA	517.476,14	25.873,81

Número	Base de origem	Consumo óleo diesel (m3)	Consumo biodiesel (m3)
26	Presidente Prudente-SP	504.910,59	25.245,53
27	Bauru-SP	498.085,72	24.904,29
28	São Francisco do Conde-BA	497.808,18	24.890,41
29	Florianópolis-SC	477.812,68	23.890,63
30	Ourinhos-SP	469.036,88	23.451,84
31	Governador Valadares-MG	465.218,62	23.260,93
32	Guarapuava-PR	462.614,04	23.130,70
33	Uberaba-MG	461.109,02	23.055,45
34	Fortaleza-CE	444.680,34	22.234,02
35	Jequié-BA	433.065,44	21.653,27
36	Porto Velho-RO	430.595,44	21.529,77
37	montes claros-MG	422.598,25	21.129,91
38	Camaçari-BA	403.866,66	20.193,33
39	Itajaí-SC	378.796,90	18.939,85
40	Vilhena-RO	375.844,04	18.792,20
41	Campos dos Goytacazes-RJ	364.971,09	18.248,55
42	Londrina-PR	362.053,05	18.102,65
43	Joinville-SC	343.188,47	17.159,42
44	Alto taquari-MT	334.399,06	16.719,95
45	Maceió-AL	318.332,34	15.916,62
46	Teresina-PI	312.483,78	15.624,19
47	Recife-PE	312.408,26	15.620,41
48	Açailândia-MA	310.708,81	15.535,44
49	São Luís-MA	307.922,73	15.396,14
50	Cubatão-SP	292.636,88	14.631,84
51	Crato-CE	282.941,66	14.147,08
52	Natal-RN	271.073,34	13.553,67
53	Aracaju-SE	264.351,16	13.217,56
54	Sinop-MT	252.106,72	12.605,34
55	Cabedelo-PB	243.374,35	12.168,72
56	Juazeiro-BA	238.462,18	11.923,11
57	Rio Grande-RS	229.325,46	11.466,27
58	Iporanga-SP	224.618,12	11.230,91
59	Santo André-SP	222.944,46	11.147,22
60	Ipojuca-PE	214.374,52	10.718,73
61	Ijuí-RS	212.062,34	10.603,12
62	Santa Maria-RS	194.990,85	9.749,54
63	Itabuna-BA	187.525,65	9.376,28
64	Santana-AP	143.059,82	7.152,99
65	Anchieta-ES	126.145,00	6.307,25
66	São Caetano do Sul-SP	123.984,32	6.199,22
67	Sobral-CE	110.607,83	5.530,39
68	Alta Floresta-MT	105.198,75	5.259,94
69	Rio Branco-AC	98.564,64	4.928,23
70	Oriximiná-PA	93.326,10	4.666,31
71	Cruz Alta-RS	84.222,88	4.211,14
72	Uruguaiana-RS	79.778,86	3.988,94
73	Cruzeiro do Sul-AC	72.876,94	3.643,85
74	Santarém-PA	66.433,79	3.321,69
75	Caracaraí-RR	66.229,69	3.311,48
76	Bagé-RS	62.950,26	3.147,51
77	Barcarena-PA	50.219,00	2.510,95
78	Almeirim-PA	49.990,76	2.499,54
79	Itaituba-PA	45.255,36	2.262,77
80	Altamira-PA	31.363,90	1.568,20
Total geral		36.729.316,83	1.836.465,84

Fonte: Adaptado de Agência Nacional do Petróleo (2.007b)

4.13. Fatores de conversão de óleo a partir de cada oleaginosa

Os fatores de conversão de óleo foram obtidos do trabalho de BARROS;OSAKI (2006).

Segundo os autores, os rendimentos foram informados pelo fabricante de unidades industriais Dedini. Os números são baseados em dados reais de produtividade encontrados em unidades industriais comercializadas pelo fabricante.

A tabela 7 mostra os rendimentos considerados neste trabalho:

Tabela 7: Taxa percentual de óleo das diversas oleaginosas estudadas - rendimento industrial
Fonte: BARROS;OSAKI (2006)

	% óleo	% farelo/torta	% rejeitos
Soja	19%	72%	9%
Girassol	39%	53%	8%
Dendê	17%	80%	3%
Mamona	42%	54%	4%
Caroço de algodão	16%	52%	32%

Os rendimentos serão considerados fixos, independentemente do local de instalação das fábricas de óleo.

4.14. Fatores de conversão de óleo em biodiesel

Para cada 1000 kg de óleo vegetal são gerados 1000 kg de biodiesel (relação 1:1). Ou seja, o fator a se utilizar é de 1,0 para conversão de óleo em biodiesel. (para análise detalhada dos insumos e subprodutos gerados, favor retornar ao item 4.9 do presente trabalho).

O fator de conversão será considerado fixo independentemente do tipo de óleo original e da localização das instalações.

4.15. Definição das localizações candidatas para as fábricas de óleo

Procurou-se determinar um critério que possibilite a seleção dos municípios candidatos com potencial de produção ao menor custo possível. Como o volume de matérias-primas é muito maior que o volume de óleo que sairá das fábricas, conceitualmente as mesmas devem estar o mais próximo possível dos centros produtores de oleaginosas, já que há perda de massa ao longo da cadeia. BALLOU (2001)

A seleção dos municípios candidatos a sediar uma fábrica de extração de óleo foi realizada de acordo com o seguinte procedimento:

I) Cálculo do custo médio do óleo a partir de cada oleaginosa, através da seguinte equação (por mesoregião-IBGE/oleaginosa):

$$CustoÓleo = \frac{(CP / PR)}{FCO} + CVE - RP$$

Onde:

CP → Custo de produção da oleaginosa (R\$/ha)

PR → Produtividade da oleaginosa (t/ha)

FCO → Fator de conversão de óleo (% óleo na oleaginosa)

CVE → Custo variável de extração de óleo (R\$/t de óleo)

RP → Receita com subprodutos (R\$/t de óleo)

A receita dos subprodutos utilizada para a execução dos cálculos é apresentada na tabela 8:

Tabela 8: Receita com subprodutos do processo de extração de oleaginosas
Fontes: BARROS;OSAKI (2006) – quantidade produzida e ABOISSA(2007) - preços

	% óleo	% farelo	Qtde farelo produzida	Preço (R\$/ton farelo) - Dez/2007
Dendê	17,0%	80,0%	800	0
Algodão	16,0%	52,0%	520	475
Girassol	39,0%	53,0%	530	350
Mamona	42,0%	54,0%	540	250
Soja	19,0%	72,0%	720	550

II)

II) Ordenamento crescente em função do custo por tonelada de óleo gerada, conforme indicado na tabela 9;

Tabela 9: Classificação das mesoregiões de acordo com o custo por (R\$/t de óleo)

Mesoregião	Estado	Oleaginosa	Potencial de produção (t/ano)	Custo Extração de óleo (R\$/t)
MARAJÓ	PA	Dendê	157.277	682,37
METROPOLITANA DE BELEM	PA	Dendê	36.387	682,37
SUDESTE PARAENSE	PA	Dendê	516.745	682,37
SUDOESTE PARAENSE	PA	Dendê	2.195.748	682,37
NORDESTE PARAENSE	PA	Dendê	327.712	682,37
BAIXO AMAZONAS	PA	Dendê	1.797.904	682,37
NORTE CATARINENSE	SC	Soja	59.489	709,68
OESTE CATARINENSE	SC	Soja	102.144	709,68
SERRANA	SC	Soja	82.982	709,68
SUL CATARINENSE	SC	Soja	36.240	709,68
GRANDE FLORIANÓPOLIS	SC	Soja	26.126	709,68
VALE DO ITAJAI	SC	Soja	48.904	709,68
CENTRO SUL BAIANO	BA	Soja	46.650	743,94
EXTREMO OESTE BAIANO	BA	Soja	412.769	743,94
VALE SÃO-FRANCISCANO DA BAHIA	BA	Soja	123.117	743,94
LESTE GOIANO	GO	Soja	228.425	751,47
CENTRO GOIANO	GO	Soja	168.013	751,47
NORTE GOIANO	GO	Soja	232.494	751,47
SUL GOIANO	GO	Soja	541.350	751,47
NOROESTE GOIANO	GO	Soja	228.922	751,47
CAMPINAS	SP	Girassol	66.783	751,73
ASSIS	SP	Girassol	47.644	751,73
MACRO METROPOLITANA PAULISTA	SP	Girassol	23.905	751,73
OESTE DE MINAS	MG	Girassol	115.402	751,73
CAMPO DAS VERTENTES	MG	Girassol	60.302	751,73
PIRACICABA	SP	Girassol	43.417	751,73
PRESIDENTE PRUDENTE	SP	Girassol	115.363	751,73
MARILIA	SP	Girassol	34.415	751,73
RIBEIRÃO PRETO	SP	Girassol	132.147	751,73

III) Seleção das mesoregiões com potencial mínimo de 100 mil toneladas de óleo/ano;

IV) Seleção das mesoregiões com custo máximo de produção de R\$ 900,00/t de óleo (para que não houvesse crescimento excessivo do número de candidatos – a preços não competitivos).;

V) Para cada mesoregião selecionada escolha do município sede que atenda:

- Minimização de distância ponderada por toneladas potenciais de matéria-prima (centro de gravidade);
- Existência de infra-estrutura rodoviária;

O exemplo abaixo mostra a seleção realizada para a mesoregião do SUL GOIANO (baseado na cultura da soja). Esta mesoregião é composta por 82 municípios. Para cada par origem x destino foi calculado o produto (tonelada potencial de oleaginosa x distância até a sede candidata).

Tabela 10: Ordenamento dos municípios em função do índice (t x km)

Município	Estado	Latitude	Longitude	Ton x Km
Santa Helena de Goiás	GO	-17,814	-50,597	559.524.585,94
Rio Verde	GO	-17,798	-50,928	563.650.370,78
Santo Antônio da Barra	GO	-17,561	-50,634	566.755.162,54
Turvelândia	GO	-17,853	-50,302	567.160.722,16
Maurilândia	GO	-17,971	-50,339	570.012.815,78
Porteirão	GO	-17,815	-50,164	573.640.561,87
Acreúna	GO	-17,396	-50,377	581.231.731,82
Castelândia	GO	-18,091	-50,201	584.421.548,04
Vicentinópolis	GO	-17,735	-49,806	601.146.679,07
Montividiu	GO	-17,444	-51,175	601.890.633,95
Edéia	GO	-17,339	-49,931	610.089.584,87
Aparecida do Rio Doce	GO	-18,299	-51,145	614.777.357,91
Quirinópolis	GO	-18,448	-50,452	614.935.442,13
Joviânia	GO	-17,805	-49,614	622.212.536,28
Edealina	GO	-17,426	-49,665	628.585.586,97
Indiara	GO	-17,142	-49,987	629.950.639,73
Bom Jesus de Goiás	GO	-18,215	-49,742	633.228.840,97
Jandaia	GO	-17,049	-50,146	634.599.038,83
Aloândia	GO	-17,728	-49,48	638.900.843,35
Paraúna	GO	-16,948	-50,449	642.889.723,18
Inaciolândia	GO	-18,488	-49,987	648.411.257,89
Pontalina	GO	-17,526	-49,449	648.790.915,56
Caçu	GO	-18,557	-51,131	650.517.801,65
Jataí	GO	-17,881	-51,714	653.653.432,49

A tabela 10 mostra o resultado obtido para o índice calculado. Para cada município, verifica-se se há pelo menos uma estrada asfaltada passando pelo mesmo.

Como o município que minimiza o índice calculado não é servido por uma via asfaltada, analisa-se o segundo colocado. O município 2 obedece o critério e é, portanto, selecionado para ser um dos candidatos.

A sequência de mapas a seguir mostra em detalhes crescentes a posição geográfica do candidato à fábrica na mesoregião Nordeste Baiano. Parte-se da representação em nível nacional, posteriormente regional (Estado) e finalmente no nível municipal.

Figura 6: Representação gráfica da Mesoregião SUL GOIANO no mapa do Brasil

Figura 7: Representação gráfica dos municípios da mesoregião SUL GOIANO – com indicação de potencial de produção de óleo de soja

Figura 8: Representação gráfica detalhada do município candidato a ser sede uma fábrica na mesoregião SUL GOIANO

O mesmo procedimento foi adotado para se selecionar os demais municípios candidatos.

4.16. Definição das localizações candidatas para as usinas de biodiesel

Como não há perda de massa no processo de produção de biodiesel (a quantidade de óleo que entra no processo é equivalente ao total de biodiesel produzido), e os custos de transporte de óleo e biodiesel são iguais ($R\$/t \times km$), as usinas podem ser localizadas tanto próximo das fábricas de óleo, quanto próximo das bases de distribuição.

Serão adotados como candidatos a sediar as usinas:

- b) Todos os municípios que são sedes das bases de distribuição;
- c) Todos os municípios que são sedes das fábricas candidatas;

4.17. Custo fixo de operação de uma fábrica produtora de óleo

Como não há disponibilidade de dados precisos sobre os custos fixo de instalação de unidades industriais de extração de óleo, os valores foram estimados com base nos custos apresentados pela DEDINI no Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira, realizado em 2007.

Os valores estimados são:

Tabela 11: Custo fixo estimado para fábricas de extração de óleo

	Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
n=1	0	não há fábrica	
n=2	10.000	R\$ 1.144.000,00	R\$ 114,40
n=3	40.000	R\$ 4.180.000,00	R\$ 104,50
n=4	100.000	R\$ 9.260.000,00	R\$ 92,60

Os valores foram considerados fixos, independentemente da localização da fábrica.

4.18. Custo fixo de operação de uma usina de biodiesel

O mesmo procedimento do item 4.17 foi utilizado para se obter os custos fixos estimados de cada nível de usina :

Tabela 12: Custo fixo estimado para usina de produção de biodiesel

	Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
q=1	0	não há usina	
q=2	10.000	R\$ 700.048,00	R\$ 70,00
q=3	40.000	R\$ 2.477.600,00	R\$ 61,94
q=4	100.000	R\$ 5.500.720,00	R\$ 55,01

Os valores foram considerados fixos, independentemente da localização da usina.

5. Solução do Modelo

5.1. Processamento do Modelo

O cenário básico apresenta as seguintes dimensões:

<i>i</i> : Índice das fábricas de óleo	$i = 52$
<i>j</i> : Índice das usinas de biodiesel	$j = 129$
<i>o</i> : Índice das espécies oleaginosas	$o = 5$
<i>m</i> : Índice dos municípios	$m = 5564$
<i>q</i> : Índice da escala de produção das usinas de biodiesel	$q = 4$
<i>n</i> : Índice da escala de produção das fábricas de óleo	$n = 4$
<i>b</i> : Índice da demanda de biodiesel das bases de distribuição	$b = 80$

A combinação do conjunto de índices resulta em um modelo com 1.491.224 variáveis (sendo 724 binárias) e 28.651 restrições.

Dado o grande porte do processo estudado, (número de variáveis e restrições) foi necessário utilizar um software capaz de lidar com tal complexidade. O modelo foi implementado utilizando-se o software GAMS versão 22.3 rev 146. O *solver* utilizado foi o CPLEX versão 10.1.0.

Segundo Yoshizaki (2002), a utilização do software GAMS facilita a codificação do modelo e dos seus diversos cenários. O software CPLEX foi escolhido dado o grande porte do modelo. Utilizou-se para o cálculo um computador com processador AMD Athlon™ MP 1,05 Ghz com 512 MB de memória RAM.

Para a geração dos mapas, que auxiliam a visualização geográfica dos parâmetros e da solução, foi utilizado o software MapWindow GIS versão 4.5.304. Os arquivos de divisão geográfica do Brasil foram obtidos do endereço eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística – IBGE (2008), e manipulados com o auxílio do software MapWindow para gerar a representação geográfica pretendida.

O CPLEX pode ser configurado para interromper o procedimento de busca da solução ótima quando a melhor solução encontrada até um dado momento obedecer ao limite de tolerância. O parâmetro pode ser definido em valor absoluto (defini-se um valor fixo) ou relativo (define-se um percentual máximo de variação). Será utilizado o parâmetro relativo (parâmetro OPTCR).

A tolerância é definida conforme a equação abaixo:

$$(|BP - BF|) / (1,0e^{-10} + |BF|) < OPTCR$$

Onde:

BF → Valor da função objetivo da solução encontrada;

BP → Melhor solução inteira possível.

Para aferir o impacto deste parâmetro no tempo de processamento do modelo o cenário básico foi solucionado com duas configurações distintas. No primeiro caso o parâmetro foi definido com o valor zero (o software executa a rotina até que uma solução ótima provada seja encontrada), e no segundo caso com um nível de tolerância de 0,1%.

O tempo de processamento com a busca da solução ótima provada (OPTCR = 0) foi de 68 horas e 45 minutos, enquanto que com o nível de tolerância igual a 0,1% (OPTCR = 0.001) o tempo de processamento caiu para 5 horas e 22 minutos. A diferença entre os resultados das duas soluções encontradas foi de apenas R\$ 9.925,52 ou 0,00051% do valor ótimo comprovado encontrado pelo software (as duas tabelas com os resultados detalhados são incluídas na seção 5.3.4). Como o tempo de processamento foi muito elevado no primeiro caso, apenas o cenário básico foi processado com este parâmetro.

Como a economia de tempo de processamento foi substancial, definiu-se que este parâmetro (OPTCR = 0.001) seria adotado para todos os cenários (inclusive o básico). Este nível de tolerância permitiu que o processamento dos diversos cenários ocorresse com intervalo de tempo entre 5 e 30 minutos e 12 horas.

Como forma de permitir a comparação entre os diferentes cenários, toda a análise do cenário básico foi feita considerando-se os resultados do modelo simulado com parâmetro de tolerância 0,1%. A partir deste ponto, quando não mencionado explicitamente, considera-se que este é o parâmetro padrão.

5.2 Parâmetros do Cenário Básico

Serão apresentados neste capítulo os principais parâmetros, através de mapas e também de informações numéricas.

5.2.1. Potencial de produção de cada oleaginosa

No cenário básico, considerou-se que apenas 10% da área dos municípios, aptos a produzir cada oleaginosa, pode ser utilizada para o cultivo. Os mapas abaixo representam o potencial de produção de cada município. Quanto mais escura a cor de preenchimento, maior a capacidade de produção (vide legendas).

Figura 9: Potencial de produção de dendê no cenário básico
Fonte: MAPA (2007)

Figura 10: Potencial de produção de girassol no cenário básico
Fonte: MAPA (2007)

Figura 11: Potencial de produção de Soja no cenário básico
Fonte: MAPA (2007)

Figura 12: Potencial de produção de Mamona no cenário básico
Fonte: MAPA (2007)

Figura 13: Potencial de produção de algodão no cenário básico
Fonte: MAPA (2007)

O levantamento acima mostra que a área potencial para produção de oleaginosas cobre praticamente toda a extensão territorial brasileira. O potencial produtivo (mesmo com a restrição de utilização de no máximo 10% das áreas municipais para produção de cada oleaginosa) é muito superior a demanda de óleo para produção de biodiesel. No cenário básico (com adição de apenas 5% de biodiesel ao óleo diesel), é utilizado 3,63% do potencial produtivo das oleaginosas.

Tabela 13: Potencial de produção de óleo no cenário básico x Consumo de óleo

	Produção Potencial Oleaginosas (t)	% óleo	Óleo (t)
Dendê	31.144.106	17,0%	5.294.498
Caroço algodão	42.695.034	16,0%	6.831.205
Girassol	39.570.874	39,0%	15.432.641
Mamona	20.456.863	42,0%	8.591.882
Soja	76.253.466	19,0%	14.488.158
TOTAL			50.638.385
Consumo óleo (t) - (biodiesel - 5%)			1.836.466
% sobre potencial			3,63%

5.2.2. Candidatas a fábricas

Foram selecionados 52 municípios candidatos a sediar uma fábrica, de acordo com os critérios estabelecidos no capítulo anterior. A relação de municípios candidatos é mostrada na próxima tabela.

Tabela 14: Relação de municípios candidatos a sediar uma fábrica no cenário básico

Número	Cidade	Estado	Geocódigo	Número	Cidade	Estado	Geocódigo
1	Altamira	PA	1.500.602	27	Jauru	MT	5.105.002
2	Monte Alegre	PA	1.504.802	28	Guiratinga	MT	5.104.203
3	Parauapebas	PA	1.505.536	29	Itapebi	BA	2.916.302
4	Moju	PA	1.504.703	30	Vitória da Conquista	BA	2.933.307
5	Portel	PA	1.505.809	31	Itapicuru	BA	2.916.500
6	Faxinal dos Guedes	SC	4.205.308	32	Barra	BA	2.902.708
7	Barreiras	BA	2.903.201	33	Bom Jardim	MA	2.102.002
8	Muquém de São Francisco	BA	2.922.250	34	Caxias	MA	2.103.000
9	Rio Verde	GO	5.218.805	35	Balsas	MA	2.101.400
10	Campinaçu	GO	5.204.656	36	Barra do Corda	MA	2.101.608
11	Araguapaz	GO	5.202.155	37	Bacabeira	MA	2.101.251
12	Planaltina	GO	5.217.609	38	Uruçuí	PI	2.211.209
13	Itaberaí	GO	5.210.406	39	Alto Longá	PI	2.200.301
14	Indianópolis	MG	3.130.705	40	Batalha	PI	2.201.507
15	Paracatu	MG	3.147.006	41	Monte Santo do Tocantins	TO	1.713.700
16	Machado	MG	3.139.003	42	Ponte Alta do Tocantins	TO	1.717.909
17	Visconde do Rio Branco	MG	3.172.004	43	Almirante Tamandaré do Sul	RS	4.300.471
18	Caeté	MG	3.110.004	44	Campestre da Serra	RS	4.303.673
19	Formiga	MG	3.126.109	45	Piratini	RS	4.314.605
20	Tanabi	SP	3.553.401	46	Cantagalo	PR	4.104.451
21	Sales Oliveira	SP	3.544.905	47	Cambira	PR	4.103.800
22	Presidente Bernardes	SP	3.541.208	48	Guaporema	PR	4.109.104
23	Bauru	SP	3.506.003	49	Condor	RS	4.305.702
24	Sinop	MT	5.107.909	50	Alegrete	RS	4.300.406
25	Ribeirão Cascalheira	MT	5.107.180	51	Porto Alegre	RS	4.314.902
26	Nossa Senhora do Livramento	MT	5.106.109	52	Toropi	RS	4.321.493

A definição do número de municípios candidatos a sediar uma fábrica é um ponto crítico para a solução do modelo. A cada candidato adicional, o modelo algébrico cresce em 28.439 variáveis. Assim, a tendência natural a aumentar o número de candidatos para buscar uma melhor logística deve ser refreada, sob risco de inviabilizar a solução do modelo por restrições computacionais. A figura 14 apresenta a localização geográfica dos municípios que são candidatos a sediar uma fábrica.

Figura 14: Localização geográficas das fábricas candidatas no cenário básico

5.2.3. Candidatas a usinas

Foram selecionados 129 municípios como potenciais sedes das usinas de produção de biodiesel. Considerou-se os 52 municípios candidatos a sediar uma fábrica e os municípios que são sede de bases de distribuição. Em 3 casos, os municípios são tanto sede de bases de distribuição como candidatos a sediar uma fábrica, sendo, portanto, contabilizados somente uma vez.

A tabela 15 relaciona os municípios candidatos a sediarem uma usina de biodiesel.

Tabela 15: Relação dos municípios candidatos a sediar uma usina de biodiesel no cenário básico

Número	Cidade	Estado	Geocódigo	Número	Cidade	Estado	Geocódigo
1	Altamira	PA	1.500.602	66	Cascavel	PR	4.104.808
2	Monte Alegre	PA	1.504.802	67	Brasília	DF	5.300.108
3	Parauapebas	PA	1.505.536	68	Esteio	RS	4.307.708
4	Moju	PA	1.504.703	69	Vitória	ES	3.205.309
5	Portel	PA	1.505.809	70	Passo Fundo	RS	4.314.100
6	Faxinal dos Guedes	SC	4.205.308	71	Marabá	PA	1.504.208
7	Barreiras	BA	2.903.201	72	Manaus	AM	1.302.603
8	Muquém de São Francisco	BA	2.922.250	73	Campo Grande	MS	5.002.704
9	Rio Verde	GO	5.218.805	74	Gurupi	TO	1.709.500
10	Campinaçu	GO	5.204.656	75	Canoas	RS	4.304.606
11	Araguapaz	GO	5.202.155	76	Maringá	PR	4.115.200
12	Planaltina	GO	5.217.609	77	Belém	PA	1.501.402
13	Itaberaí	GO	5.210.406	78	Presidente Prudente	SP	3.541.406
14	Indianópolis	MG	3.130.705	79	São Francisco do Conde	BA	2.929.206
15	Paracatu	MG	3.147.006	80	Florianópolis	SC	4.205.407
16	Machado	MG	3.139.003	81	Ourinhos	SP	3.534.708
17	Visconde do Rio Branco	MG	3.172.004	82	Governador Valadares	MG	3.127.701
18	Caeté	MG	3.110.004	83	Guarapuava	PR	4.109.401
19	Formiga	MG	3.126.109	84	Uberaba	MG	3.170.107
20	Tanabi	SP	3.553.401	85	Fortaleza	CE	2.304.400
21	Sales Oliveira	SP	3.544.905	86	Jequié	BA	2.918.001
22	Presidente Bernardes	SP	3.541.208	87	Porto Velho	RO	1.100.205
23	Bauru	SP	3.506.003	88	Montes Claros	MG	3.143.302
24	Sinop	MT	5.107.909	89	Camaçari	BA	2.905.701
25	Ribeirão Cascalheira	MT	5.107.180	90	Itajaí	SC	4.208.203
26	Nossa Senhora do Livramento	MT	5.106.109	91	Vilhena	RO	1.100.304
27	Jauru	MT	5105002	92	Campos dos Goytacazes	RJ	3301009
28	Guiratinga	MT	5104203	93	Londrina	PR	4113700
29	Itapebi	BA	2916302	94	Joinville	SC	4209102
30	Vitória da Conquista	BA	2933307	95	Alto Taquari	MT	5100607
31	Itapicuru	BA	2916500	96	Maceió	AL	2704302
32	Barra	BA	2902708	97	Teresina	PI	2211001
33	Bom Jardim	MA	2102002	98	Recife	PE	2611606
34	Caxias	MA	2103000	99	Açailândia	MA	2100055
35	Balsas	MA	2101400	100	São Luís	MA	2111300
36	Barra do Corda	MA	2101608	101	Cubatão	SP	3513504
37	Bacabeira	MA	2101251	102	Crato	CE	2304202
38	Uruçuí	PI	2211209	103	Natal	RN	2408102
39	Alto Longá	PI	2200301	104	Aracaju	SE	2800308
40	Batalha	PI	2201507	105	Cabedelo	PB	2503209
41	Monte Santo do Tocantins	TO	1713700	106	Juazeiro	BA	2918407
42	Ponte Alta do Tocantins	TO	1717909	107	Rio Grande	RS	4315602
43	Almirante Tamandaré do Sul	RS	4300471	108	Iporanga	SP	3521200
44	Campestre da Serra	RS	4303673	109	Santo André	SP	3547809
45	Piratini	RS	4314605	110	Ipojuca	PE	2607208
46	Cantagalo	PR	4104451	111	Ijuí	RS	4310207
47	Cambira	PR	4103800	112	Santa Maria	RS	4316907
48	Guaporema	PR	4109104	113	Itabuna	BA	2914802
49	Condor	RS	4305702	114	Santana	AP	1600600
50	Alegrete	RS	4300406	115	Anchieta	ES	3200409
51	Porto Alegre	RS	4314902	116	São Caetano do Sul	SP	3548807
52	Toropi	RS	4321493	117	Sobral	CE	2312908
53	Betim	MG	3106705	118	Alta Floresta	MT	5100250
54	Paulínia	SP	3536505	119	Rio Branco	AC	1200401
55	São Paulo	SP	3550308	120	Oriximiná	PA	1505304
56	Araucária	PR	4101804	121	Cruz Alta	RS	4306106
57	Ribeirão Preto	SP	3543402	122	Uruguaiana	RS	4322400
58	Duque de Caxias	RJ	3301702	123	Cruzeiro do Sul	AC	1200203
59	São José do Rio Preto	SP	3549805	124	Santarém	PA	1506807
60	Barueri	SP	3505708	125	Caracaraí	RR	1400209
61	Goiânia	GO	5208707	126	Bagé	RS	4301602
62	Rio de Janeiro	RJ	3304557	127	Barcarena	PA	1501303
63	Cuiabá	MT	5103403	128	Almeirim	PA	1500503
64	São José dos Campos	SP	3549904	129	Itaituba	PA	1503606
65	Uberlândia	MG	3170206				

A figura 15 mostra a localização geográfica dos municípios candidatos a sediarem uma usina.

Figura 15: Localização geográfica dos municípios candidatos a sediar uma usina no cenário básico

5.3 Resultados do Cenário Básico

Os resultados serão apresentados através de mapas e tabelas de relacionamento para cada uma das variáveis do sistema, assim dividido:

5.3.1 Municípios produtores de oleaginosas e fábricas de destino

A figura 16 mostra os municípios selecionados para produção de oleaginosas pelo modelo de programação linear. São apresentadas também as sedes das fábricas de extração de óleo.

Figura 16: Município produtoras de oleaginosas e fábricas abertas no cenário básico

As cores do mapa identificam a oleaginosa selecionada e também o volume de produção (vide a legenda para maiores detalhes). A solução resultante do modelo envolve a produção de três oleaginosas para fornecer o óleo necessário a produção do biodiesel (dendê, girassol e soja). Os municípios selecionados para sediar uma fábrica são apresentados na tabela 16.

Tabela 16: Municípios selecionados para sediar uma fábrica de óleo no cenário básico

Número	Índice (i)	Cidade	Estado	Capacidade de produção (t)
1	i002	Monte Alegre	PA	100.000
2	i004	Moju	PA	100.000
3	i005	Portel	PA	100.000
4	i006	Faxinal dos Guedes	SC	100.000
5	i008	Muquém de São Francisco	BA	10.000
6	i009	Rio Verde	GO	100.000
7	i012	Planaltina	GO	40.000
8	i014	Indianópolis	MG	100.000
9	i016	Machado	MG	100.000
10	i017	Visconde do Rio Branco	MG	100.000
11	i018	Caeté	MG	100.000
12	i019	Formiga	MG	100.000
13	i020	Tanabi	SP	100.000
14	i021	Sales Oliveira	SP	100.000
15	i022	Presidente Bernardes	SP	100.000
16	i023	Bauru	SP	100.000
17	i024	Sinop	MT	10.000
18	i026	Nossa Senhora do Livramento	MT	40.000
19	i031	Itapicuru	BA	100.000
20	i032	Barra	BA	40.000
21	i044	Campestre da Serra	RS	100.000
22	i047	Cambira	PR	100.000

TOTAL (t)	1.840.000
------------------	------------------

5.3.2 Usinas selecionadas e fábricas fornecedoras

A solução obtida indica que a verticalização do processo é a opção de menor custo total. Todos os municípios selecionados para sediar uma fábrica também o foram para sediar uma usina. A relação dos municípios selecionados para sediar uma usina é detalhada na tabela 17.

As usinas serão supridas pelas fábricas sediadas nos próprios municípios. As capacidades selecionadas para usinas e fábricas na mesma localidade são as mesmas. Assim, cada fábrica suprirá tão somente a usina vizinha.

Tabela 17: Relação de municípios selecionados para sediar uma usina no cenário básico

Número	Índice (i)	Cidade	Estado	Capacidade de produção (t)
1	j002	Monte Alegre	PA	100.000
2	j004	Moju	PA	100.000
3	j005	Portel	PA	100.000
4	j006	Faxinal dos Guedes	SC	100.000
5	j008	Muquém de São Francisco	BA	10.000
6	j009	Rio Verde	GO	100.000
7	j012	Planaltina	GO	40.000
8	j014	Indianópolis	MG	100.000
9	j016	Machado	MG	100.000
10	j017	Visconde do Rio Branco	MG	100.000
11	j018	Caeté	MG	100.000
12	j019	Formiga	MG	100.000
13	j020	Tanabi	SP	100.000
14	j021	Sales Oliveira	SP	100.000
15	j022	Presidente Bernardes	SP	100.000
16	j023	Bauru	SP	100.000
17	j024	Sinop	MT	10.000
18	j026	Nossa Senhora do Livramento	MT	40.000
19	j031	Itapicuru	BA	100.000
20	j032	Barra	BA	40.000
21	j044	Campestre da Serra	RS	100.000
22	j047	Cambira	PR	100.000

TOTAL (t)	1.840.000
------------------	------------------

5.3.3 Suprimento das bases de distribuição

Abaixo serão apresentados os mapas que indicam as usinas selecionadas para o abastecimento de cada base. Em função da impossibilidade de visualização precisa da solução em um mapa único (pelo tamanho das imagens), optou-se por agrupar alguns Estados, de forma a permitir uma perfeita visualização dos fluxos.

O primeiro agrupamento selecionado (mostrado na figura 17) foi o dos Estados do RS e SC, abastecidos pelas usinas 6 e 44, sediadas respectivamente em Faxinal dos Guedes_SC e Campestre da Serra-RS. As duas usinas operam com óleo de soja e tem capacidade para 100.000 toneladas anuais.

Figura 17: Fluxo de abastecimento das bases de distribuição do RS e SC no cenário básico

O segundo agrupamento selecionado foi o Estado do Paraná, abastecido pelas usinas 6 (soja), 47(girassol) e 22(girassol). A figura 18 detalha estes fluxos.

Figura 18: Fluxo de abastecimento das bases de distribuição do PR no cenário básico

A usina 6 é a de Faxinal dos Guedes-SC, enquanto a 47 está localizada no Estado do Paraná (Cambira-PR) situada no Centro-Norte do Estado. A usina 22, localizada no extremo oeste paulista (Presidente Bernardes-SP) abastece duas cidades paranaenses.

Figura 19: Fluxo de abastecimento das bases de distribuição em SP no cenário básico (exceto SP Capital)

A figura 19 detalha o fluxo de abastecimento do interior do Estado de SP. O abastecimento da Capital do Estado é mostrado na figura 20, dado o grande número de fontes de suprimento. O interior do Estado de SP é abastecido por 4 usinas localizadas no próprio Estado e por uma situada em MG. Todas as usinas operam 100% com óleo de girassol.

A figura 20 detalha o abastecimento da cidade de São Paulo, realizado por 5 bases de distribuição (2 situadas em MG, 2 em SP e 1 em MS). Este fato aparentemente ocorre para garantir a operação das usinas na capacidade máxima, já que não faz sentido operacionalmente. Como o custo de abertura de outra usina é alto, o modelo alocada a demanda para zerar a sobra nas usinas já alocadas.

Figura 20: Fluxograma de abastecimento da base de São Paulo (Capital) no cenário básico

A figura 21 detalha o abastecimento dos outros Estados da região Sudeste (MG, RJ e ES). As usinas estão situadas em MG (4 usinas) e GO (1 usina). As usinas de MG operam totalmente com óleo de girassol, enquanto a usina de Goiás opera parcialmente com soja e com girassol.

Figura 21: Fluxograma de abastecimentos das bases de MG, RJ e ES no cenário básico

A região Norte é abastecida pelas usinas 2, 4 e 5, situadas no Estado do Pará. São exceções as bases 40 e 22 situadas em áreas limítrofes com a região Centro Oeste e abastecidas somente parcialmente pelas usinas do Pará. Os fluxos são detalhados na figura 22.

Todas as usinas supridoras da região Norte operam com óleo de dendê, que apresenta o menor custo de extração do país. Parte da capacidade das fábricas é utilizada também para atender a bases localizadas na região Nordeste do país.

Para as demais regiões do país, entretanto, o custo de frete inviabiliza o abastecimento.

Figura 22: Fluxograma de abastecimento das bases da região Norte no cenário básico

A região Nordeste é abastecida parcialmente pelas usinas localizadas no Pará (operadas com óleo de dendê) e parcialmente com as usinas localizadas na Bahia (operadas com soja e girassol). A figura 23 detalha estes fluxos.

Usina J32	■
bases supridas por J32	■
Base(s) atendida(s) totalmente pela Usina 32	■
Base(s) atendida(s) parcialmente pelas Usinas 32 e 8	■
Base(s) atendida(s) parcialmente pelas Usinas 32 e 5	■
Base(s) atendida(s) parcialmente pelas Usinas 32 e 31	■
Usina J31	■
bases supridas por J31	■
Base(s) atendida(s) totalmente pela Usina 31	■
Base(s) atendida(s) parcialmente pelas Usinas 31 e 32	■
Usina J8	■
bases supridas por J8	■
Base(s) atendida(s) totalmente pela Usina 8	■
Base(s) atendida(s) parcialmente pelas Usinas 8 e 32	■
Usina J5	■
bases supridas por J5	■
Base(s) abastecida(s) totalmente pela Usina 5	■
Usina J4	■
bases supridas por J4	■
Bases atendidas totalmente por Usina 4	■
Bases atendidas parcialmente pelas Usina 4, 5 e 31	■
Demais Bases	■
Limites estaduais	■

Figura 23: Fluxograma de abastecimento das bases de distribuição da região Nordeste no cenário básico

Por fim, a figura 24 demonstra o fluxo de abastecimento da região Centro-Oeste, realizado principalmente pelas usinas localizadas no próprio Centro-Oeste e operando com parcialmente com soja e com girassol. As cidades mais próximas da região norte são abastecidas parcialmente pela usinas do Pará (utilizadas para zerar a sobra de capacidade destas usinas).

Figura 24: Fluxograma de abastecimento da Região Centro-Oeste no cenário básico

5.3.4 Custo total

Como mencionado na seção 5.1, vamos listar neste tópico as duas soluções obtidas para o processamento do cenário básico: a solução com o parâmetro sem tolerância de erro (OPTCR = 0.0) e a solução com nível de tolerância igual a 0,1% (OPTCR = 0.001). A tabela 18 totaliza os custos do cenário básico sem tolerância de erro e a tabela 19 os custos com tolerância de 0,1%..

Tabela 18: Custo total segmentado no cenário básico – nível de tolerância ZERO

		Qtde oleaginosa (t/ano)	Qtde óleo (t/ano)	Valor (R\$/ano)	Total categoria (R\$/ano)	R\$/t de biodiesel	%
Matéria-prima (menos receita de subprodutos)	Dendê	1.745.924	296.807	R\$ 169.621.816,35	R\$ 1.199.302.849,11	R\$ 653,05	61,5%
	Algodão						
	Girassol	3.155.193	1.230.525	R\$ 851.244.207,92			
	Mamona	23.810	10.000	R\$ 7.696.106,64			
	Soja	1.574.387	299.134	R\$ 170.740.718,19			
Custo de extração de óleo	Dendê	1.745.924		R\$ 32.911.519,52	R\$ 163.421.331,67	R\$ 88,99	8,4%
	Algodão	-					
	Girassol	3.155.193		R\$ 84.464.051,20			
	Mamona	23.810		R\$ 655.269,89			
	Soja	1.574.387		R\$ 45.390.491,06			
Transporte: Município para fábricas	Dendê	1.745.924		R\$ 2.166.239,73	R\$ 47.110.670,10	R\$ 25,65	2,4%
	Algodão	-					
	Girassol	3.155.193		R\$ 28.778.703,65			
	Mamona	23.810		R\$ 52,03			
	Soja	1.574.387		R\$ 16.165.674,68			
	Transporte: Fábricas para Usinas			575.200,00		R\$ -	0%
	Processamento nas Usinas			R\$ 143.501.440,74		R\$ 78,14	7,4%
	Transporte: Usinas para bases			R\$ 120.787.143,65		R\$ 65,77	6,2%
	Fixos - fábricas			R\$ 173.636.000,00		R\$ 94,55	8,9%
	Fixos - usinas			R\$ 103.199.712,00		R\$ 56,19	5,3%
TOTAIS		1.836.466	R\$ 1.951.534.347,26			R\$ 1.062,34	100,0%

Tabela 19: Custo total segmentado no cenário básico – nível de tolerância 0,1%

		Qtde oleaginosa (t/ano)	Qtde óleo (t/ano)	Valor (R\$/ano)	Total categoria (R\$/ano)	R\$/t de biodiesel	%
Matéria-prima (menos receita de subprodutos)	Dendê	1.764.706	300.000	R\$ 171.446.492,80	R\$ 1.198.458.178,99	R\$ 652,59	61,4%
	Algodão						
	Girassol	3.171.456	1.236.868	R\$ 856.067.616,53			
	Mamona						
	Soja	1.576.832	299.598	R\$ 170.944.069,67			
Custo de extração de óleo	Dendê	1.764.706		R\$ 33.265.559,33	R\$ 163.625.961,70	R\$ 89,10	8,4%
	Algodão	-					
	Girassol	3.171.456		R\$ 84.899.403,85			
	Mamona	-					
	Soja	1.576.832		R\$ 45.460.998,52			
Transporte: Município para fábricas	Dendê	1.764.706		R\$ 2.357.181,62	R\$ 47.787.547,96	R\$ 26,02	2,4%
	Algodão	-					
	Girassol	3.171.456		R\$ 29.107.356,32			
	Mamona	-					
	Soja	1.576.832		R\$ 16.323.010,02			
	Transporte: Fábricas para Usinas			-		R\$ -	0%
	Processamento nas Usinas			R\$ 143.501.440,74		R\$ 78,14	7,4%
	Transporte: Usinas para bases			R\$ 123.578.007,39		R\$ 67,29	6,3%
	Fixos - fábricas			R\$ 172.248.000,00		R\$ 93,79	8,8%
	Fixos - usinas			R\$ 102.345.136,00		R\$ 55,73	5,2%
TOTAIS		1.836.466	R\$ 1.951.544.272,78			R\$ 1.062,66	100,0%

Como mencionado na seção 5.1, a inserção da tabela sem tolerância de erro tem por objetivo apenas demonstrar a pequena variação percentual entre os dois cenários. Todas as análises serão realizadas com o modelo calculado com tolerância 0,1%.

A tabela 19 demonstra que o custo mais relevante na cadeia produtiva é o relativo a matéria-prima, sendo o mesmo responsável por mais de 60% de valor total. Em segundo lugar ficam os custos de manufatura, com cerca de 29,8% do total (ai incluídos os custos fixos e variáveis de extração de óleo e produção de biodiesel). Em último lugar aparecem os custos de transportes, com apenas 8,7% do total.

Os custos de transporte são relativamente baixos pelo fato das unidades produtivas estarem próximas das fontes de matéria-prima e pelo fato da produção estar fortemente verticalizada. Não há custo de transporte entre fábricas e usinas, na medida em que os municípios selecionados para ambos os casos serem os mesmos.

6. Cenários alternativos

6.1 Introdução

Neste capítulo serão analisados cenários alternativos ao básico. Serão consideradas as seguintes variações:

- Variação dos custos fixos das fábricas e usinas;
- Variação da capacidade das fábricas e das usinas;
- Variação de demanda no mercado interno;
- Variação no percentual máximo de terra alocada para cada oleaginosa;

6.2. Variação dos custos fixos das fábricas e das usinas

Os resultados do cenário básico apontaram para a alocação de fábricas com a maior capacidade de produção (das 22 fábricas abertas, 17 foram alocadas com a escala máxima – 100.000 t).

O objetivo desta análise é verificar se a redução da diferença dos custos fixos (por tonelada de capacidade) resultará na abertura de um maior número de fábricas e/ou usinas. Os novos custos fixos (total e por tonelada) são detalhados nas tabelas 20 e 21.

Tabela 20: Variação do custo fixo por tonelada de fábricas e usinas – alternativas de 1 a 3

		CENÁRIO BÁSICO			Alternativa 1 Redução de 25% na diferença de custo por tonelada		Alternativa 2 Redução de 50% na diferença de custo por tonelada		Alternativa 3 Redução de 75% na diferença de custo por tonelada	
		Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
FÁBRICAS DE ÓLEO	n=1	0	não há fábrica		não há fábrica		não há fábrica		não há fábrica	
	n=2	10.000	R\$ 1.144.000	R\$ 114,40	R\$ 1.089.500	R\$ 108,95	R\$ 1.035.000	R\$ 103,50	R\$ 980.500	R\$ 98,05
	n=3	40.000	R\$ 4.180.000	R\$ 104,50	R\$ 4.061.000	R\$ 101,53	R\$ 3.942.000	R\$ 98,55	R\$ 3.823.000	R\$ 95,58
	n=4	100.000	R\$ 9.260.000	R\$ 92,60	R\$ 9.260.000	R\$ 92,60	R\$ 9.260.000	R\$ 92,60	R\$ 9.260.000	R\$ 92,60

		Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
USINAS	q=1	0	não há usina		não há usina		não há usina		não há usina	
	q=2	10.000	R\$ 700.048	R\$ 70,00	R\$ 662.554	R\$ 66,26	R\$ 625.060	R\$ 62,51	R\$ 587.566	R\$ 58,76
	q=3	40.000	R\$ 2.477.600	R\$ 61,94	R\$ 2.408.272	R\$ 60,21	R\$ 2.338.944	R\$ 58,47	R\$ 2.269.616	R\$ 56,74
	q=4	100.000	R\$ 5.500.720	R\$ 55,01	R\$ 5.500.720	R\$ 55,01	R\$ 5.500.720	R\$ 55,01	R\$ 5.500.720	R\$ 55,01

Tabela 21: Variação do custo fixo por tonelada de fábricas e usinas – alternativas 4 e 5

		CENÁRIO BÁSICO			Alternativa 4 Custo por tonelada igual (menor custo)		Alternativa 5 Custo por tonelada igual (maior custo)	
		Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
FÁBRICAS DE ÓLEO	n=1	0	não há fábrica		não há fábrica		não há fábrica	
	n=2	10.000	R\$ 1.144.000	R\$ 114,40	R\$ 926.000	R\$ 92,60	R\$ 1.144.000	R\$ 114,40
	n=3	40.000	R\$ 4.180.000	R\$ 104,50	R\$ 3.704.000	R\$ 92,60	R\$ 4.576.000	R\$ 114,40
	n=4	100.000	R\$ 9.260.000	R\$ 92,60	R\$ 9.260.000	R\$ 92,60	R\$ 11.440.000	R\$ 114,40

		Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
USINAS	q=1	0	não há usina		não há usina		não há usina	
	q=2	10.000	R\$ 700.048	R\$ 70,00	R\$ 550.072	R\$ 55,01	R\$ 700.048	R\$ 70,00
	q=3	40.000	R\$ 2.477.600	R\$ 61,94	R\$ 2.200.288	R\$ 55,01	R\$ 2.800.192	R\$ 70,00
	q=4	100.000	R\$ 5.500.720	R\$ 55,01	R\$ 5.500.720	R\$ 55,01	R\$ 7.000.480	R\$ 70,00

Como forma de verificar o impacto, são analisados 5 cenários alternativos:

- Reduzindo-se em 25% a diferença do custo por tonelada em cada escala;
- Reduzindo-se em 50% a diferença do custo por tonelada em cada escala;
- Reduzindo-se em 75% a diferença do custo por tonelada em cada escala;
- Igualando-se o custo por tonelada no menor nível do cenário básico (escala 100 mil t);
- Igualando-se o custo por tonelada no maior nível do cenário básico (escala 10 mil t).

Pretende-se verificar qual dos dois fatores abaixo tem maior influência na definição do número de instalações da solução do modelo (fábricas e usinas):

- O patamar do custo fixo por tonelada (e sua participação relativa nos custos totais da cadeia);
- A variação do custo por tonelada entre as diversas escalas analisadas (ganho de escala).

Os resultados consolidados dos cenários alternativos processados são mostrados nas tabelas 22 e 23. A primeira tabela concentra a análise dos custos (total e segmentado) e a segunda tabela concentra a análise da estrutura logística obtida nos diferentes cenários.

Tabela 22: Comparativo dos resultados da variação do custo fixo por tonelada - custos

	% Redução na diferença do custo fixo por tonelada	Número de oleaginosas selecionadas	CUSTO FIXO MANUF - MÉDIO (R\$/t)	Custo Total (R\$ milhões)	Valores Totais (R\$ milhões)			% participação nos custos totais		
					Matéria-prima (oleaginosas)	Transporte	Manufatura	Matéria-prima (oleaginosas)	Transporte	Manufatura - variável
CENÁRIO BÁSICO		3	149,52	1.951,544	1.198,458	171,366	581,721	61,41%	8,78%	29,81%
					Entre Munic e Fábricas	47,788	Fixo 307,127		2,45%	15,74%
					Entre Fábricas e Usinas:		Variável 274,593		0,00%	14,07%
					Entre Usinas e Bases:	123,578			6,33%	
CENÁRIO ALTERNATIVO 1	25%	4	150,95	1.950,128 -0,07%	1.208,218	155,782	586,127	61,96%	7,99%	30,06%
					Entre Munic e Fábricas	39,300	Fixo 277,208		2,02%	14,21%
					Entre Fábricas e Usinas	1,310	Variável 308,919		0,07%	15,84%
					Entre Usinas e Bases:	115,172			5,91%	
CENÁRIO ALTERNATIVO 2	50%	4	150,73	1.948,305 -0,17%	1.212,058	152,246	584,001	62,21%	7,81%	29,97%
					Entre Munic e Fábricas	37,416	Fixo 276,818		1,92%	14,21%
					Entre Fábricas e Usinas	0,661	Variável 307,183		0,03%	15,77%
					Entre Usinas e Bases:	114,169			5,86%	
CENÁRIO ALTERNATIVO 3	75%	4	149,4318	1.945,523 -0,31%	1.199,619	157,582	588,323	61,66%	8,10%	30,24%
					Entre Munic e Fábricas	36,689	Fixo 274,426		1,89%	14,11%
					Entre Fábricas e Usinas	8,501	Variável 313,896		0,44%	16,13%
					Entre Usinas e Bases:	112,392			5,78%	
CENÁRIO ALTERNATIVO 4	100% (**)	4	147,89	1.943,013 -0,44%	1.208,077	154,584	580,352	62,18%	7,96%	29,87%
					Entre Munic e Fábricas	34,702	Fixo 271,597		1,79%	13,98%
					Entre Fábricas e Usinas	18,389	Variável 308,755		0,95%	15,89%
					Entre Usinas e Bases:	101,493			5,22%	
CENÁRIO ALTERNATIVO 5	100% (***)	4	184,76	2.010,458 3,02%	1.203,050	156,784	650,624	59,84%	7,80%	32,36%
					Entre Munic e Fábricas	35,451	Fixo 339,305		1,76%	16,88%
					Entre Fábricas e Usinas	24,058	Variável 311,319		1,20%	15,48%
					Entre Usinas e Bases:	97,275			4,84%	

(**) O custo fixo por tonelada foi considerado igual para todas as escalas (10 mil, 40 mil e 100 mil t). Foi adotado o **MENOR** valor do cenário básico para todas (o custo por tonelada da escala maior - R\$ 92,60/t para fábricas e R\$ 55,01/t para usinas)

(**) O custo fixo por tonelada foi considerado igual para todas as escalas (10 mil, 40 mil e 100 mil t). Foi adotado o **MAIOR** valor do cenário básico para todas (o custo por tonelada da escala menor - R\$ 114,4/t para fábricas e R\$ 70,00/t para usinas)

Tabela 23: Comparativo dos resultados da variação do custo fixo por tonelada - estrutura logística

		Preço Médio da Matéria-Prima oleaginoso (R\$/t)	FABRICAS		USINAS		Verticalização (*)						
	% Redução na diferença do custo fixo por tonelada		Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)	Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)			Dendê	Mamona	Girassol	Soja	
CENÁRIO BÁSICO		652,59	22		22								
			10 mil t	2	10 mil t	2	SIM	22	Num. Cidades:	8	0	588	178
			40 mil t	3	40 mil t	3	NÃO		Qtde Óleo:	300.000	-	1.236.868	299.598
			100 mil t	17	100 mil t	17							
CENÁRIO ALTERNATIVO 1	25%	657,9	28		28								
		0,8%	10 mil t	6	10 mil t	6	SIM	26	Num. Cidades:	3	1	582	185
			40 mil t	17	40 mil t	17	NÃO	2	Qtde Óleo:	240.000	10.000	1.234.368	352.098
			100 mil t	15	100 mil t	15							
CENÁRIO ALTERNATIVO 2	50%	659,99	34		34								
		1,1%	10 mil t	12	10 mil t	12	SIM	32	Num. Cidades:	4	6	581	193
			40 mil t	8	40 mil t	8	NÃO	2	Qtde Óleo:	250.000	24.520	1.253.343	326.603
			100 mil t	14	100 mil t	14							
CENÁRIO ALTERNATIVO 3	75%	653,22	37		46								
		0,1%	10 mil t	14	10 mil t	26	SIM	29	Num. Cidades:	5	7	547	192
			40 mil t	10	40 mil t	7	NÃO	8	Qtde Óleo:	260.000	32.965	1.140.876	402.625
			100 mil t	13	100 mil t	13							
CENÁRIO ALTERNATIVO 4	100% (**)	657,83	37		55								
		0,8%	10 mil t	12	10 mil t	30	SIM	30	Num. Cidades:	5	21	560	178
			40 mil t	13	40 mil t	16	NÃO	7	Qtde Óleo:	260.000	46.739	1.188.457	341.270
			100 mil t	12	100 mil t	9							
CENÁRIO ALTERNATIVO 5	100% (***)	655,09	37		55								
		0,4%	10 mil t	14	10 mil t	30	SIM	29	Num. Cidades:	5	4	561	194
			40 mil t	10	40 mil t	16	NÃO	8	Qtde Óleo:	260.000	20.000	1.185.343	371.123
			100 mil t	13	100 mil t	9							

(*) Indica o número de fábricas que: a) tem a sede no mesmo município de uma usina e b) envia toda a sua produção para somente esta usina;

(**) O custo fixo por tonelada foi considerado igual para todas as escalas (10 mil, 40 mil e 100 mil t). Foi adotado o **MENOR** valor do cenário básico para todas (o custo por tonelada da escala maior - R\$ 92,60/t para fábricas e R\$ 55,01/t para usinas)

(**) O custo fixo por tonelada foi considerado igual para todas as escalas (10 mil, 40 mil e 100 mil t). Foi adotado o **MAIOR** valor do cenário básico para todas (o custo por tonelada da escala menor - R\$ 114,4/t para fábricas e R\$ 70,00/t para usinas)

A tabela 22 ressalta que os custos totais não variaram significativamente entre os cenários (com exceção do cenário em que foi eliminado o ganho de escala e os custos fixos por tonelada foram nivelados pelo nível de menor eficiência – resultado já esperado). Ocorreu, entretanto uma mudança mais estrutural na participação dos custos, com tendência a um ligeiro crescimento dos custos de manufatura e de oleaginosas e a uma redução do custo de transporte.

A redução dos custos de transporte ocorre pela significativa descentralização das instalações industriais. O número de fábricas e usinas tem um comportamento de crescimento constante na medida em que se reduz os ganhos de escala nos diversos cenários, partindo de um par 22-22 (cenário básico) para 37-55 (cenário sem ganho de escala) para fábricas e usinas respectivamente.

A escala média das fábricas passa de 83,6 mil t/ano para 49,7 mil t/ano, enquanto as usinas passam de 83,6 mil t/ano para 33,5 mil t/ano.

A estrutura dos custos de transporte também se altera, aumentando a participação do custo de transporte entre fábricas e usinas e reduzindo-se a participação dos outros dois segmentos.

É importante notar que, quando não há ganho de escala, independentemente do patamar de custo fixo – se na maior ou na menor eficiência, a estrutura logística ficou semelhante, com 37 fábricas e 55 usinas.

Em todos os cenários alternativos há a introdução da mamona na matriz de oleaginosas utilizadas. Há um crescimento constante desta espécie, na medida em que os ganhos de escala são reduzidos, com abertura de fábricas no Rio Grande do Sul para aproveitamento dos baixos custos desta espécie neste estado. Há também uma tendência de redução na utilização de dendê e girassol e um aumento na utilização de soja.

A verticalização da produção também é reduzida substancialmente, na medida em que os ganhos de escala são reduzidos. Enquanto no cenário básico todas as fábricas e usinas de uma determinada região estavam associadas a um mesmo município, nos cenários sem ganho de escala a proporção de fábricas não verticalizadas fica ao redor de 20% do total.

Pode-se concluir que o nível de ganho de escala influi diretamente na estruturação da rede logística, sendo este um parâmetro que precisa ser estimado com o máximo de precisão possível.

6.3. Variação da capacidade das fábricas e das usinas

O objetivo deste item é testar se a utilização de plantas de maior escala muda sensivelmente os resultados do modelo básico. Serão agregadas plantas com capacidade de 150, 200 e 300 mil toneladas.

O conjunto de escalas de fábricas e usinas passa a ter 7 elementos, com as seguintes capacidades: 0, 10 mil, 40 mil, 100 mil, 150 mil, 200 mil e 300 mil toneladas.

Segundo DEDINI (2007), pode-se considerar o mesmo custo fixo por tonelada produzida para fábricas com escala superior a 100 mil toneladas. Este critério será adotado na solução deste modelo alternativo.

Os novos custos fixos utilizados são detalhados na tabela 24.

Tabela 24: Custos fixos de usinas e fábricas com escalas alternativas

CUSTOS FIXOS - FÁBRICAS				CUSTOS FIXOS - USINAS			
	Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)		Capacidade anual (t)	Custo Fixo (R\$/ano)	Custo (R\$/t)
n=1	0	não há fábrica		q=1	0	não há usina	
n=2	10.000	R\$ 1.144.000,00	R\$ 114,40	q=2	10.000	R\$ 700.048,00	R\$ 70,00
n=3	40.000	R\$ 4.180.000,00	R\$ 104,50	q=3	40.000	R\$ 2.477.600,00	R\$ 61,94
n=4	100.000	R\$ 9.260.000,00	R\$ 92,60	q=4	100.000	R\$ 5.500.720,00	R\$ 55,01
n=5	150.000	R\$ 13.890.000,00	R\$ 92,60	q=5	150.000	R\$ 8.251.080,00	R\$ 55,01
n=6	200.000	R\$ 18.520.000,00	R\$ 92,60	q=6	200.000	R\$ 11.001.440,00	R\$ 55,01
n=7	300.000	R\$ 27.780.000,00	R\$ 92,60	q=7	300.000	R\$ 16.502.160,00	R\$ 55,01

A inclusão de três novas escalas de produção introduz um grande número de variáveis binárias adicionais (543 – considerando-se usinas e fábricas).

O desempenho do GAMS/CPLEX se deteriora substancialmente nestas circunstâncias. Não foi possível obter a margem de tolerância de 0,1% após o processamento durante 120 horas (em contraposição ao tempo médio de 10 horas para obtenção da margem nos outros cenários simulados). Após este tempo de processamento, a margem de tolerância obtida foi de 0,27%, com uma convergência muito lenta (para se sair do patamar de 0,28% para este, o tempo de processamento foi de mais de 40 horas). Optou-se por interromper o software com este grau de precisão e analisar os resultados.

As tabelas 25 e 26 comparam os resultados do processamento do cenário básico com os obtidos no processamento do modelo com variação de escalas de fábricas e usinas.

Tabela 25: Comparativo da estrutura de custos - cenários com variação de escala de fábricas e usinas

	Número de escalas possíveis	Número de oleaginosas selecionadas	Custo Total (R\$ milhões)	Valores Totais (R\$ milhões)			% participação nos custos totais		
				Matéria-prima (oleaginosa)	Transporte	Manufatura	Matéria-prima (oleaginosa)	Transporte	Manufatura - variável
CENÁRIO BÁSICO	4	3	1.951,544	1.198,458	171,366	581,721	61,41%	8,78%	29,81%
					Entre Munic e Fábricas: 47,788	Fixo: 307,127			
					Entre Fábricas e Usinas: 123,578	Variável: 274,593			
					Entre Usinas e Bases: 116,162				
CENÁRIO ALTERNATIVO	7	4	1.950,102 -0,07%	1.202,992	159,900	587,210	61,69%	8,20%	30,11%
					Entre Munic e Fábricas: 40,684	Fixo: 278,384			
					Entre Fábricas e Usinas: 3,054	Variável: 308,826			
					Entre Usinas e Bases: 116,162				

Tabela 26: Comparativo da estrutura logística - cenários com variação de escala de fábricas e usinas

	Número de escalas possíveis	Preço Médio da Matéria-Prima oleaginosa (R\$/t)	FÁBRICAS		USINAS			Dendê	Girassol	Mamona	Soja
			Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)	Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)					
CENÁRIO BÁSICO	4	652,59	22		22		Num. Cidades: 8 Qtde Óleo: 300.000 % participação: 16,3%	588 1.236.868 67,4%	0 - 0,0%		178 299.598 16,3%
			10 mil t: 2	83,6	10 mil t: 2	83,6					
			40 mil t: 3		40 mil t: 3						
			100 mil t: 17		100 mil t: 17						
CENÁRIO ALTERNATIVO	7	655,06 0,4%	24		26		Num. Cidades: 9 Qtde Óleo: 300.000 % participação: 16,3%	654 1.206.059 65,7%	1 10.000 0,5%		184 320.408 17,4%
			10 mil t: 5		10 mil t: 6						
			40 mil t: 6		40 mil t: 7						
			100 mil t: 9	76,7	100 mil t: 10	70,8					
			150 mil t: 3		150 mil t: 2						
			200 mil t: 1		200 mil t: 1						
			300 mil t: -		300 mil t: -						

Os resultados de custos são muito semelhantes. Os custos totais não apresentam variação significativa (redução de apenas 0,07%). Há uma tendência de redução dos custos de transporte e leves acréscimos dos custos de matéria-prima e de manufatura.

Quanto à estrutura logística, há o aumento do número de instalações e a escala média das instalações cai um pouco (-9% para fábricas e -15% para usinas). A participação dos diversos óleos não se altera significativamente, mas a mamona é introduzida na matriz de oleaginosas.

6.4. Variação da demanda no mercado interno

Neste cenário será analisada a variação de demanda nos seguintes percentuais: 40, 60 e 100%, considerando a elevação da mistura do biodiesel ao diesel fóssil para 7, 8 e 10% respectivamente. O objetivo é testar o comportamento do modelo com a maior aproximação entre a capacidade produtiva de oleaginosas e a demanda efetiva.

As tabelas 27 e 28 resumem os custos totais em cada cenário alternativo construído.

Tabela 27: Comparativo entre estruturas de custos nos cenários com variação de demanda

				Custo (R\$/t biodiesel)			% participação nos custos totais		
	% Redução na diferença do custo fixo por	Demanda Total (mil t)	Custo Total (R\$/t biodiesel)	Matéria-prima (oleaginosa)	Transporte	Manufatura	Matéria-prima (oleaginosa)	Transporte	Manufatura variável
CENÁRIO BÁSICO		1.836,5	1.062,663	652,589	93,313	316,761	61,41%	8,78%	29,81%
CENÁRIO ALTERNATIVO I	40%	2.571,1	1.072,850 0,96%	657,030 0,68%	96,682 3,61%	319,137 0,75%	61,24%	9,01%	29,75%
CENÁRIO ALTERNATIVO II	60%	2.938,3	1.077,995 1,44%	664,695 1,86%	96,686 3,61%	316,614 -0,05%	61,66%	8,97%	29,37%
CENÁRIO ALTERNATIVO III	100%	3.672,9	1.089,880 2,56%	675,102 3,45%	99,861 7,02%	314,917 -0,58%	61,94%	9,16%	28,89%

Tabela 28: Comparativo entre as estruturas logísticas nos cenários com variação de demanda

	% Redução na diferença do custo fixo por tonelada	FABRICAS		USINAS						
		Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)	Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)					
CENÁRIO BÁSICO		22 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 17	83,6	22 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 17	83,6	Num. Cidades:	8	588	0	178
						Qtde Óleo:	300.000	1.236.868	-	299.598
							16,3%	67,4%	0,0%	16,3%
CENÁRIO ALTERNATIVO I	40%	30 10 mil t 2 40 mil t 4 100 mil t 24	86,0	30 10 mil t 2 40 mil t 4 100 mil t 24	86,0	Num. Cidades:	9	659	40	228
						Qtde Óleo:	400.000	1.530.000	134.631	506.421
						Participação %:	15,6%	59,5%	5,2%	19,7%
CENÁRIO ALTERNATIVO II	60%	33 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 28	89,1	33 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 28	89,1	Num. Cidades:	9	710	78	234
						Qtde Óleo:	400.000	1.795.235	192.322	550.789
						Participação %:	13,6%	61,1%	6,5%	18,7%
CENÁRIO ALTERNATIVO III	100%	44 10 mil t 4 40 mil t 6 100 mil t 34	83,6	44 10 mil t 4 40 mil t 6 100 mil t 34	83,6	Num. Cidades:	12	792	132	248
						Qtde Óleo:	440.000	2.273.632	347.239	612.061
						Participação %:	12,0%	61,9%	9,5%	16,7%

Como esperado, com a saturação das áreas produtoras de maior competitividade, o custo total tende a se elevar com o incremento da demanda. A elevação de custos não é, entretanto, tão significativa.

No cenário com crescimento de 100%, os custos totais por tonelada de demanda crescem ao redor de 2,5%, principalmente em função do aumento dos custos de transporte e do custo das matérias-primas oleaginosas. Os custos de manufatura permanecem relativamente estáveis, pois já no cenário básico as fábricas e usinas operam em quase todos os casos na escala máxima (como vimos no tópico anterior, devido ao ganho de escala existente neste processo industrial).

Quanto à estrutura produtiva, há uma redistribuição da participação relativa das oleaginosas no total de óleo. A mamona é introduzida na matriz de matérias-primas (com plantio no RS) e sua participação cresce significativamente na medida em que a demanda é elevada. A mamona chega próximo de representar 10% do óleo consumido no cenário com incremento de 100% de demanda (partindo do zero no cenário básico).

As participações do dendê e do girassol são diluídas pelo crescimento da mamona, enquanto a soja permanece relativamente estável. A figura 25 mostra a origem do óleo necessário para atender à nova demanda introduzida no cenário de duplicação.

Figura 25: Origem do óleo no cenário básico x no cenário com duplicação da demanda

As figuras 26, 27 e 28 detalham como fica a localização dos municípios fornecedores de oleaginosas, bem como a localização das fábricas em cada cenário.

Figura 26: Localização de municípios produtores de oleaginosas e fábricas - cenário com aumento de 40% na demanda

Figura 27: Localização de municípios produtores de oleaginosas e fábricas - cenário com aumento de 60% na demanda

Figura 28: Localização de municípios produtores de oleaginosas e fábricas - cenário com aumento de 100% na demanda

6.5. Variação no percentual máximo de terra alocada para cada oleaginosa

Neste item será testada a influência do parâmetro que define o máximo de terras alocadas por município a uma determinada oleaginosa. O objetivo é verificar se há um crescimento acentuado do custo médio por tonelada de biodiesel produzida, e se a distribuição geográfica da produção de oleaginosas se altera substancialmente.

O cenário básico, com o parâmetro definido em 10%, será confrontado com os cenários configurados com os parâmetros de 5%, 7,5% e 15% das terras alocadas para cada oleaginosas

As tabelas 29 e 30 apresentam a comparação dos principais parâmetros de avaliação dos cenários, sendo que a primeira enfatiza prioritariamente itens de custo e a segunda a estrutura da solução logística.

Tabela 29: Comparativo da estrutura de custos - cenários com variação do % máximo de terra

	% Área dos Municípios para cada oleaginosa	Número de oleaginosas selecionadas	Custo Total (R\$ milhões)	Valores Totais (R\$ milhões)			% participação nos custos totais		
				Matéria-prima (oleaginosa)	Transporte	Manufatura	Matéria-prima (oleaginosa)	Transporte	Manufatura - variável
CENÁRIO ALTERNATIVO A	5,0%	4	1.975,735 1,24%	1.225,010	165,550 Entre Munic e Fábricas 50,010 Entre Fábricas e Usinas 2,730 Entre Usinas e Bases: 112,810	585,170 Fixo 283,560 Variável 301,610	62,00%	8,38%	29,62%
CENÁRIO ALTERNATIVO B	7,5%	4	1.960,018 0,43%	1.209,506	168,567 Entre Munic e Fábricas 45,443 Entre Fábricas e Usinas 0,901 Entre Usinas e Bases: 122,223	581,945 Fixo 276,836 Variável 305,109	61,71%	8,60%	29,69%
CENÁRIO BÁSICO	10,0%	3	1.951,544	1.198,458	171,366 Entre Munic e Fábricas 47,788 Entre Fábricas e Usinas: Entre Usinas e Bases: 123,578	581,721 Fixo 307,127 Variável 274,593	61,41%	8,78%	29,81%
CENÁRIO ALTERNATIVO C	15,0%		1.942,576 -0,46%	1.201,517	157,025 Entre Munic e Fábricas 32,715 Entre Fábricas e Usinas: Entre Usinas e Bases: 124,310	584,034 Fixo 274,593 Variável 309,441	61,85%	8,08%	30,06%

Tabela 30: Comparativo da estrutura logística - cenários com variação do % máximo de terra

	% Área dos Municípios para cada oleaginosa	Preço Médio da Matéria-Prima oleaginosa (R\$/t)	FÁBRICAS		USINAS		Dendê	Girassol	Mamona	Soja
			Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)	Número de instalações	Escala Média (mil t/ano)				
CENÁRIO ALTERNATIVO A	5,0%	667,05 2,2%	34 10 mil t 10 40 mil t 11 100 mil t 13	54,1	34 10 mil t 10 40 mil t 11 100 mil t 13	54,1	Num. Cidades: 11 Qtde Óleo: 230.000 % participação: 12,5%	1096 1.250.500 68,1%	53 84.035 4,6%	257 271.932 14,8%
CENÁRIO ALTERNATIVO B	7,5%	658,61 0,9%	25 10 mil t 4 40 mil t 5 100 mil t 16	73,6	25 10 mil t 4 40 mil t 5 100 mil t 16	73,6	Num. Cidades: 5 Qtde Óleo: 280.000 % participação: 15,2%	774 1.259.399 68,6%	5 11.167 0,6%	223 285.900 15,6%
CENÁRIO BÁSICO	10,0%	652,59	22 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 17	83,6	22 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 17	83,6	Num. Cidades: 8 Qtde Óleo: 300.000 % participação: 16,3%	588 1.236.868 67,4%	0 - 0,0%	178 299.598 16,3%
CENÁRIO ALTERNATIVO C	15,0%	654,26 0,3%	22 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 17	83,6	22 10 mil t 2 40 mil t 3 100 mil t 17	83,6	Num. Cidades: 5 Qtde Óleo: 300.000 % participação: 16,3%	383 1.209.029 65,8%	0 - 0,0%	122 327.437 17,8%

Como esperado, com a redução do percentual de terras para cada oleaginosa ocorre um aumento do custo total da solução. Este efeito decorre do consumo mais acelerado da capacidade de produção nos municípios mais competitivos. O modelo matemático passa a alocar municípios menos competitivos na região selecionada para implantação das fábricas para completar a capacidade instalada.

A diferença no custo total, contudo, não é tão significativa, variando de -0,46% até + 1,24% entre os cenários com acréscimo de 50% e redução de 50% no total de terras alocadas em relação ao cenário básico.

Quanto à origem do óleo, há um crescimento da utilização de dendê e soja com o crescimento do parâmetro de terras alocadas. A mamona, em contrapartida, só é utilizada nos cenários com percentual menor que 10%, desaparecendo da solução para o cenário básico e para o cenário com parâmetro de 15%. O girassol tem sua participação reduzida com o crescimento do parâmetro.

Quanto à estrutura da solução logística, a redução do parâmetro resulta em um maior número de instalações (fábricas e usinas). O cenário com 5% indica a implantação de 34 fábricas e 34 usinas, enquanto no cenário básico o número é de 22 instalações para cada um dos dois tipos de indústria (o cenário com parâmetro de 7,5% fica em um número intermediário – 25 instalações de cada tipo).

No cenário com parâmetro de 15%, entretanto, o número de instalações permanece em 22 para fábricas e usinas. Entre os cenários com parâmetros de 10% e 15% há somente a mudança da localização de 2 instalações, ficando o número de fábricas em cada escala exatamente igual.

A tabela 31 mostra a localização das fábricas nos diversos cenários, para verificar-se a consistência da localização das instalações:

Tabela 31: Comparativo da localização das fábricas - cenários com variação do % de terras

			% Máximo de terras por oleaginosa	5%	7,5	10%	15%
TOTAL FÁBRICAS				34	25	22	22
Cidade	Estado	Índice	CENÁRIO ALTERNATIVO A	CENÁRIO ALTERNATIVO B	CENÁRIO BÁSICO	CENÁRIO ALTERNATIVO C	
Altamira	PA	i001	100.000	100.000	-	100.000	
Monte Alegre	PA	i002	40.000	40.000	100.000	100.000	
Parauapebas	PA	i003	10.000	-	-	-	
Moju	PA	i004	40.000	40.000	100.000	100.000	
Portel	PA	i005	40.000	100.000	100.000	-	
Faxinal dos Guedes	SC	i006	100.000	100.000	100.000	100.000	
Barreiras	BA	i007	40.000	-	-	-	
Muquém de São Francisco	BA	i008	10.000	10.000	10.000	10.000	
Rio Verde	GO	i009	40.000	100.000	100.000	100.000	
Campinaçu	GO	i010	10.000	10.000	-	10.000	
Araguapaz	GO	i011	-	-	-	-	
Planaltina	GO	i012	40.000	40.000	40.000	40.000	
Itaberaí	GO	i013	40.000	-	-	-	
Indianópolis	MG	i014	100.000	100.000	100.000	100.000	
Paracatu	MG	i015	40.000	10.000	-	-	
Machado	MG	i016	100.000	100.000	100.000	100.000	
Visconde do Rio Branco	MG	i017	100.000	100.000	100.000	100.000	
Caeté	MG	i018	100.000	100.000	100.000	100.000	
Formiga	MG	i019	100.000	100.000	100.000	100.000	
Tanabi	SP	i020	100.000	100.000	100.000	100.000	
Sales Oliveira	SP	i021	100.000	100.000	100.000	100.000	
Presidente Bernardes	SP	i022	100.000	100.000	100.000	100.000	
Bauru	SP	i023	100.000	100.000	100.000	100.000	
Sinop	MT	i024	10.000	10.000	10.000	-	
Ribeirão Cascalheira	MT	i025	-	-	-	-	
Nossa Senhora do Livramento	MT	i026	40.000	40.000	40.000	40.000	
Jauru	MT	i027	-	-	-	-	
Guiratinga	MT	i028	-	-	-	-	
Itapebi	BA	i029	-	-	-	-	
Vitória da Conquista	BA	i030	10.000	-	-	-	
Itapicuru	BA	i031	100.000	100.000	100.000	100.000	
Barra	BA	i032	40.000	40.000	40.000	40.000	
Bom Jardim	MA	i033	-	-	-	-	
Caxias	MA	i034	10.000	-	-	-	
Balsas	MA	i035	-	-	-	-	
Barra do Corda	MA	i036	-	-	-	-	
Bacabeira	MA	i037	-	-	-	-	
Uruçuí	PI	i038	-	-	-	-	
Alto Longá	PI	i039	-	-	-	-	
Batalha	PI	i040	10.000	-	-	-	
Monte Santo do Tocantins	TO	i041	-	-	-	-	
Ponte Alta do Tocantins	TO	i042	-	-	-	-	
Almirante Tamandaré do Sul	RS	i043	-	-	-	-	
Campestre da Serra	RS	i044	100.000	100.000	100.000	100.000	
Piratini	RS	i045	10.000	-	-	-	
Cantagalo	PR	i046	-	-	-	-	
Cambira	PR	i047	40.000	100.000	100.000	100.000	
Guaporema	PR	i048	-	-	-	-	
Condor	RS	i049	10.000	-	-	-	
Alegrete	RS	i050	-	-	-	-	
Porto Alegre	RS	i051	-	-	-	-	
Toropi	RS	i052	10.000	-	-	-	

As linhas marcadas em amarelo mostram as fábricas que são selecionadas nos 4 cenários e com a mesma escala de produção. Das 22 fábricas selecionadas no cenário básico, 16 delas permanecem no mesmo local e com a mesma escala, independentemente do parâmetro de alocação de terras. Estas 16 fábricas produzem 72% da demanda total. Além das 16 instalações idênticas, mais 4 fábricas permanecem em todos os cenários, tendo, entretanto variação da escala utilizada.

As linhas marcadas em verde mostram as fábricas que não foram selecionadas em nenhum dos cenários simulados.

7. Conclusões

Este capítulo tem por objetivo concluir a dissertação, resumindo os tópicos desenvolvidos ao longo do trabalho, tecendo alguns comentários e críticas sobre as limitações do modelo desenvolvido e suas premissas e, por último, propondo estudos futuros que venham a complementar o presente trabalho.

7.1. Resumo dos tópicos desenvolvidos na dissertação

Pretendia-se obter como resultado da dissertação um modelo matemático/computacional com flexibilidade para consideração de cenários alternativos de produção e demanda e permitir:

- 1) A avaliação do potencial de produção de oleaginosas no país;
- 2) A indicação das zonas mais promissoras para a localização dos diversos elos da cadeia do biodiesel (fase agrícola, fábricas e usinas);

Para atingir tal objetivo foi, inicialmente, realizada uma pesquisa bibliográfica dos principais trabalhos relacionados à logística, gestão da cadeia de suprimento e programação linear (capítulo 2). Foi selecionado um modelo de programação linear inteira mista como o mais adequado para representar o processo estudado, sendo tal modelo matemático detalhado no capítulo 3.

Após a construção do modelo matemático, foram definidos os parâmetros da cadeia do biodiesel, sendo os mais importantes: as regiões com aptidão agronômica para a produção das diversas oleaginosas, a localização geográfica (latitude e longitude), a área disponível (limites municipais), o potencial de produção por hectare, os custos de produção de oleaginosas, os custos de frete entre os diversos elos da cadeia, os custos industriais para extração de óleo, e a demanda de combustíveis. (capítulo 4).

O capítulo 5 detalha os resultados do modelo matemático no cenário básico, obtendo-se os custos totais para o suprimento da demanda de combustíveis, o mapa das regiões produtoras de oleaginosas e a localização de fábricas e usinas (atendendo os objetivos 1 e 2 mencionados acima).

Para se verificar o comportamento do modelo face a incertezas, foram processados cenários alternativos, com variação de demanda, custos fixos de manufatura, escala das fábricas e usinas e percentual máximo de terras alocadas para cada oleaginosa (capítulo 6). Para todos os cenários simulados foram obtidos resultados com custo total muito próximo ao do cenário básico (variação máxima de +3,02%). A estrutura da cadeia logística variou mais significativamente, com aumento ou redução do número de instalações de acordo com a alteração dos parâmetros, mas os custos totais permaneceram muito próximos.

O modelo desenvolvido tem como pressuposto a minimização do custo total de produção para atender a demanda gerada pelo programa nacional de biodiesel. Obviamente, em uma economia aberta como a brasileira, o modelo é meramente um instrumento de análise sobre as condições ideais para aproveitamento das potencialidades brasileiras. Não se espera que o governo ou qualquer outra entidade seja capaz de direcionar a instalação de empresas privadas nos locais definidos pelo resultado da modelagem, até porque o programa não é isolado em si, mas faz parte de uma cadeia que envolve outros produtores de óleo destinados a outros fins. Entretanto, os resultados permitem ao investidor potencial, a análise sobre as regiões com menor custo. Pode-se facilmente, calcular o custo de produção de biodiesel de cada instalação da rede logística. Pode-se selecionar, assim, quais são os melhores locais para instalação de um empreendimento, analisando-se inclusive se já existe capacidade instalada de concorrentes.

A tabela 32 detalha os custos de extração de óleo em cada fábrica selecionada no cenário básico. Há uma variação substancial dos custos totais nesta fase da cadeia, sendo a maior diferença encontrada de 21,1% entre o melhor e o pior custo. A oleaginosa mais competitiva é o dendê, sendo a matéria-prima única das 3 fábricas mais competitivas.

A tabela 33 apresenta os custos acumulados até a produção de biodiesel (sem considerar o frete até as bases de distribuição). A diferença entre o menor e o maior custo permanece ao redor de 20% (19,2% na maior diferença).

Tabela 32: Custo de produção de óleo de cada fábrica no cenário básico

Custo - R\$/tonelada de óleo produzida											
Cidade	Estado	Oleag. Proces.	Código	Volume de oleaginosas processadas	Volume de óleo produzido	Extração óleo - FIXO	Extração de óleo - VARIÁVEL	Matéria-prima oleaginosas	Transportes - Municípios para fábrica	Total	Varição em relação ao menor custo
Monte Alegre	PA	D	i002	588.235	100.000	92,60	110,89	571,47	-	774,95	0,0%
Portel	PA	D	i005	588.235	100.000	92,60	110,89	571,47	-	774,95	0,0%
Moju	PA	D	i004	588.235	100.000	92,60	110,89	571,49	23,61	798,59	3,0%
Barra	BA	S	i032	210.526	40.000	104,50	151,74	592,21	-	848,45	9,5%
Muquém de São Francisco	BA	S	i008	52.632	10.000	114,40	151,74	592,21	-	858,35	10,8%
Rio Verde	GO	S/G	i009	353.021	96.466	95,99	102,37	655,30	5,13	858,78	10,8%
Faxinal dos Guedes	SC	S	i006	526.316	100.000	92,60	151,74	557,94	60,68	862,96	11,4%
Formiga	MG	G	i019	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	21,76	866,09	11,8%
Tanabi	SP	G	i020	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,10	866,43	11,8%
Sales Oliveira	SP	G	i021	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,12	866,45	11,8%
Bauru	SP	G	i023	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,47	866,81	11,9%
Machado	MG	G	i016	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,57	866,90	11,9%
Indianópolis	MG	G	i014	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,72	867,05	11,9%
Caeté	MG	G	i018	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,75	867,08	11,9%
Visconde do Rio Branco	MG	G	i017	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	22,78	867,11	11,9%
Presidente Bernardes	SP	G	i022	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	23,15	867,48	11,9%
Planaltina	GO	S/G	i012	130.759	40.000	104,50	90,34	668,83	6,63	870,31	12,3%
Cambira	PR	G	i047	256.410	100.000	92,60	68,64	683,09	54,89	899,23	16,0%
Campestre da Serra	RS	S	i044	526.316	100.000	92,60	151,74	557,94	100,97	903,26	16,6%
Nossa Senhora do Livramento	MT	G	i026	102.564	40.000	104,50	68,64	751,70	5,96	930,80	20,1%
Sinop	MT	G	i024	25.641	10.000	114,40	68,64	751,69	-	934,73	20,6%
Itapicuru	BA	G	i031	256.410	100.000	92,60	68,64	751,70	25,35	938,30	21,1%
Médio						93,79	89,10	652,59	26,02	861,50	

Tabela 33: Custo de produção de biodiesel em cada usina no cenário básico

Custo - R\$/tonelada de óleo produzida								
Cidade	Estado	Código	Volume de óleo biodiesel produzido	Extração óleo - FIXO	Extração de óleo - VARIÁVEL	Óleo Vegetal utilizado como matéria-prima	Total	Varição em relação ao menor custo
Monte Alegre	PA	j002	100.000	55,01	78,14	774,95	908,10	0,0%
Portel	PA	j005	100.000	55,01	78,14	774,95	908,10	0,0%
Moju	PA	j004	100.000	55,01	78,14	798,59	931,73	2,6%
Barra	BA	j032	40.000	61,94	78,14	848,45	988,53	8,9%
Rio Verde	GO	j009	96.466	57,02	78,14	858,78	993,94	9,5%
Faxinal dos Guedes	SC	j006	100.000	55,01	78,14	862,96	996,11	9,7%
Formiga	MG	j019	100.000	55,01	78,14	866,09	999,24	10,0%
Tanabi	SP	j020	100.000	55,01	78,14	866,43	999,58	10,1%
Sales Oliveira	SP	j021	100.000	55,01	78,14	866,45	999,59	10,1%
Bauru	SP	j023	100.000	55,01	78,14	866,81	999,95	10,1%
Machado	MG	j016	100.000	55,01	78,14	866,90	1.000,05	10,1%
Indianópolis	MG	j014	100.000	55,01	78,14	867,05	1.000,20	10,1%
Caeté	MG	j018	100.000	55,01	78,14	867,08	1.000,23	10,1%
Visconde do Rio Branco	MG	j017	100.000	55,01	78,14	867,11	1.000,25	10,1%
Presidente Bernardes	SP	j022	100.000	55,01	78,14	867,48	1.000,63	10,2%
Muquém de São Francisco	BA	j008	10.000	70,00	78,14	858,35	1.006,49	10,8%
Planaltina	GO	j012	40.000	61,94	78,14	870,31	1.010,39	11,3%
Cambira	PR	j047	100.000	55,01	78,14	899,23	1.032,37	13,7%
Campestre da Serra	RS	j044	100.000	55,01	78,14	903,26	1.036,40	14,1%
Nossa Senhora do Livramento	MT	j026	40.000	61,94	78,14	930,80	1.070,88	17,9%
Itapicuru	BA	j031	100.000	55,01	78,14	938,30	1.071,44	18,0%
Sinop	MT	j024	10.000	70,00	78,14	934,73	1.082,88	19,2%
Médio				55,73	78,14	861,50	995,37	

A tabela 34 detalha os custos do biodiesel entregue em cada uma das bases de distribuição. Dada a grande variação dos valores de frete em função da localização das bases, a diferença entre os locais de maior e menor preço chega a 30%.

Tabela 34: Custo do biodiesel entregue em cada usina no cenário básico

Cidade	Estado	Código	Demanda	Custo - R\$/tonelada de biodiesel			Total	Variação em relação ao menor custo
				Biodiesel na usina de origem	Transporte - Usinas - Bases			
Santarém	PA	b074	3.322	908,10	26,77		934,87	0,0%
Barcarena	PA	b077	2.511	931,73	16,38		948,11	1,4%
Belém	PA	b025	25.874	931,73	19,34		951,07	1,7%
Almeirim	PA	b078	2.500	908,10	48,07		956,17	2,3%
Oriximiná	PA	b070	4.666	908,10	51,11		959,21	2,6%
Altamira	PA	b080	1.568	908,10	52,47		960,57	2,7%
Santana	AP	b064	7.153	908,10	53,24		961,34	2,8%
Itaituba	PA	b079	2.263	908,10	74,31		982,41	5,1%
Marabá	PA	b019	28.994	908,10	90,24		998,34	6,8%
Bauru	SP	b027	24.904	999,95	-		999,95	7,0%
Açailândia	MA	b048	15.535	908,10	101,55	1.009,65		8,0%
Presidente Prudente	SP	b026	25.246	1.000,63	9,38	1.010,01		8,0%
São José do Rio Preto	SP	b007	50.227	999,58	13,67	1.013,25		8,4%
Uberlândia	MG	b013	35.578	1.000,20	15,04	1.015,24		8,6%
Ribeirão Preto	SP	b005	58.591	999,59	16,46	1.016,05		8,7%
Uberaba	MG	b033	23.055	1.000,20	25,08	1.025,28		9,7%
Betim	MG	b001	120.932	999,87	26,42	1.026,29		9,8%
Brasília	DF	b015	33.010	1.010,39	17,67	1.028,06		10,0%
São Luís	MA	b049	15.396	931,73	102,15	1.033,88		10,6%
Manaus	AM	b020	28.636	908,10	127,72	1.035,82		10,8%
Passo Fundo	RS	b018	30.094	996,11	42,38	1.038,49		11,1%
Ourinhos	SP	b030	23.452	1.000,25	40,87	1.041,12		11,4%
Londrina	PR	b042	18.103	1.000,63	40,94	1.041,57		11,4%
São José dos Campos	SP	b012	38.106	1.000,05	44,37	1.044,42		11,7%
Campos dos Goytacazes	RJ	b041	18.249	1.000,25	46,42	1.046,67		12,0%
Maringá	PR	b024	26765,93	1.032,37	15,22	1.047,59		12,1%
Goiânia	GO	b009	46395,62	993,94	54,06	1.048,00		12,1%
Governador Valadares	MG	b031	23260,93	1.000,23	53,45	1.053,68		12,7%
Rio de Janeiro	RJ	b010	39863,64	1.000,25	53,47	1.053,72		12,7%
Ijuí	RS	b061	10603,12	996,11	57,63	1.053,74		12,7%
Alto Taquari	MT	b044	16719,95	993,94	60,06	1.054,00		12,7%
Cruz Alta	RS	b071	4211,14	996,11	58,12	1.054,23		12,8%
São Caetano do Sul	SP	b066	6199,22	1.000,05	55,77	1.055,82		12,9%
Santo André	SP	b059	11147,22	1.000,05	56,52	1.056,57		13,0%
Anchieta	ES	b065	6307,25	1.000,25	56,37	1.056,62		13,0%
Iporanga	SP	b058	11230,91	999,95	61,48	1.061,43		13,5%
Barueri	SP	b008	47499,36	999,95	62,08	1.062,03		13,6%
Vitória	ES	b017	30823,54	1.000,25	64,09	1.064,34		13,8%
Juazeiro	BA	b056	11923,11	988,53	76,65	1.065,18		13,9%
Paulínia	SP	b002	79134,05	999,59	66,87	1.066,46		14,1%
Caracará	RR	b075	3311,48	908,10	158,37	1.066,47		14,1%
Alta Floresta	MT	b068	5259,94	908,10	159,75	1.067,85		14,2%
Cubatão	SP	b050	14631,84	999,80	68,13	1.067,93		14,2%
Guarapuava	PR	b032	23130,7	1.019,87	49,76	1.069,64		14,4%
Esteio	RS	b016	30944,19	1.036,40	34,23	1.070,63		14,5%
Teresina	PI	b046	15624,19	931,73	139,01	1.070,74		14,5%
Canoas	RS	b023	27832,78	1.036,40	35,61	1.072,01		14,7%
Joinville	SC	b043	17159,42	996,11	76,87	1.072,98		14,8%
Duque de Caxias	RJ	b006	56095,81	999,33	73,68	1.073,01		14,8%
Itajaí	SC	b039	18939,85	996,11	78,89	1.075,00		15,0%
São Paulo	SP	b003	78842,23	999,87	80,75	1.080,62		15,6%
Santa Maria	RS	b062	9749,54	1.007,34	74,34	1.081,68		15,7%
Jequié	BA	b035	21653,27	989,04	94,40	1.083,45		15,9%
Cuiabá	MT	b011	39658,69	1.070,88	13,04	1.083,92		15,9%
Sinop	MT	b054	12605,34	1.046,75	38,57	1.085,32		16,1%
Cascavel	PR	b014	33175,65	1.032,37	59,09	1.091,46		16,8%
Campo Grande	MS	b021	28355,93	993,94	100,21	1.094,15		17,0%
Gurupi	TO	b022	28076,49	917,25	180,64	1.097,89		17,4%
Araucária	PR	b004	71284,3	1.011,72	86,63	1.098,35		17,5%
Sobral	CE	b067	5530,39	931,73	168,45	1.100,18		17,7%
Montes Claros	MG	b037	21129,91	1.003,57	98,01	1.101,58		17,8%
Florianópolis	SC	b029	23890,63	1.036,40	66,08	1.102,48		17,9%
Aracaju	SE	b053	13217,56	1.071,44	37,60	1.109,04		18,6%
Uruguaiana	RS	b072	3988,94	996,11	112,94	1.109,05		18,6%
São Francisco do Conde	BA	b028	24890,41	1.069,59	43,01	1.112,60		19,0%
Camaçari	BA	b038	20193,33	1.071,44	41,65	1.113,09		19,1%
Itabuna	BA	b063	9376,28	1.006,49	109,89	1.116,38		19,4%
Rio Grande	RS	b057	11466,27	1.036,40	81,57	1.117,97		19,6%
Crato	CE	b051	14147,08	945,00	173,63	1.118,62		19,7%
Porto Velho	RO	b036	21529,77	908,10	213,55	1.121,65		20,0%
Bagé	RS	b076	3147,51	1.036,40	86,76	1.123,16		20,1%
Fortaleza	CE	b034	22234,02	931,73	192,53	1.124,26		20,3%
Vilhena	RO	b040	18792,2	911,06	217,15	1.128,20		20,7%
Maceió	AL	b045	15916,62	1.071,44	74,17	1.145,61		22,5%
Ipojuca	PE	b060	10718,73	1.071,44	98,06	1.169,50		25,1%
Rio Branco	AC	b069	4928,23	908,10	265,26	1.173,36		25,5%
Natal	RN	b052	13553,67	930,47	244,23	1.174,71		25,7%
Recife	PE	b047	15620,41	1.071,44	104,45	1.175,89		25,8%
Cabedelo	PB	b055	12168,72	908,10	276,73	1.184,83		26,7%
Cruzeiro do Sul	AC	b073	3643,85	908,10	309,54	1.217,64		30,2%
Média				995,37	67,29	1.062,66		

7.2. Comentários e críticas da modelagem e propostas para novos desenvolvimentos

Algumas características do processo real não foram consideradas na modelagem proposta para o problema (em função da inexistência de dados neste momento ou para se evitar o crescimento excessivo da complexidade – que poderia resultar na inviabilidade de otimização por restrição da capacidade computacional):

- 1) Variação mais precisa dos custos da produção agrícola, por microregião IBGE e não por Estados;
- 2) Competição na utilização de óleo vegetal para outras finalidades;
- 3) Variação do custo de manufatura em função da localização do empreendimento;
- 4) Os custos de estocagem de matéria-prima na cadeia produtiva;
- 5) Variação do custo do frete em função do par origem-destino;

Cada um dos itens acima constitui uma oportunidade de desenvolvimento de novos trabalhos sobre o tema desta dissertação.

7.2.1. Custo da produção agrícola

O custo de produção das oleaginosas, obtidos através da CONAB (2008b), tem uma limitação grande de abrangência, pois são calculados apenas para algumas regiões representativas do país.

O número reduzido de informações obtidas forçou a extrapolação destes valores para os Estados próximos. Introduz-se, assim, um fator de erro consideravelmente grande ao modelo. É notória a variação dos fatores de produção entre as diversas localidades, em função principalmente dos custos de frete. Outro fator de produção com grande variabilidade é o custo da terra, que hectare pode variar de algumas dezenas de milhares de reais na região centro sul para algumas dezenas de reais nas regiões norte e nordeste.

BARROS;OSAKI (2006) utilizaram-se de painéis com agricultores para se chegar ao custo de produção nos cinco municípios estudados por eles (isto foi possível pelo fato deles terem estudado um número pequeno de localidades).

Um estudo adicional que pode ser desenvolvido é a construção de um modelo de custeio de amplitude nacional, tendo como objetivo aferir com maior precisão qual o real estágio de competitividade das diversas regiões. Este modelo serviria para fornecer os dados que alimentam o modelo de otimização desenvolvido, melhorando sobremaneira a qualidade das informações atualmente disponíveis.

7.2.2. Competição com outros mercados

Entende-se que o ideal seria a possível simulação de toda a cadeia produtiva, incluindo-se aí as fábricas atuais destinadas a outros usos (consumo humano, por exemplo).

Observa-se na prática, entretanto, que esta operação é extremamente complexa, pois não basta a simulação de instalações situadas no Brasil. Os óleos vegetais são *commodities* negociadas mundialmente e com cotações atreladas ao mercado internacional. A eventual simulação envolveria a consideração de todas as unidades instaladas ao redor do mundo, bem como a dinâmica dos mercados internacionais.

Acredita-se que a consideração dos custos de produção e não das cotações internacionais, elimina grande parte desta volatilidade artificial das *commodities* ao basear os resultados em fatores reais e não dependentes de especulações financeiras.

Uma linha de pesquisa extremamente interessante abre-se neste tópico, pois há atualmente um grande debate internacional não apenas sobre o biodiesel, mas sobre todos os biocombustíveis. Discute-se intensamente qual será o real impacto da crescente participação deste novo tipo de combustível, não somente na matriz energética, mas também nos custos de alimentação.

O mundo enfrenta em 2008 uma forte inflação dos gêneros alimentícios e a comunidade internacional não consegue chegar a um consenso sobre as reais razões deste fato. Há argumentos de que a principal causa é a especulação financeira, em contraponto aos que acreditam que o consumo excessivo de oleaginosas para produção de etanol (notadamente nos Estados Unidos) esteja causada tal efeito. Estudos precisam ser desenvolvidos para se afirmar categoricamente o que pode ocorrer com esta mudança estrutural da matriz energética (que pode ser concretizada em poucas décadas). Este é um campo de estudo não diretamente envolvido ao

tema desta dissertação, mas está sendo mencionado apenas para se dar a dimensão da complexidade de se simular o efeito da concorrência de vários mercados concatenados.

7.2.3. Custos de produção industrial independentes da localização

Os custos de investimento e de operação podem variar consideravelmente em função da localização do empreendimento.

Os investimentos em bens de capital, por exemplo, tendem a ser maiores em localizações mais distantes (os fabricantes de bens de capital estão localizados normalmente nas regiões sul, sudeste ou no exterior). Implantar uma fábrica em regiões longínquas tende a elevar o custo do investimento, por acarretar custos adicionais de frete e de montagem de canteiro de obras. Em contrapartida, os terrenos e a mão-de-obra não especializada tendem a ser mais baratas em relação aos grandes centros.

Os custos de mão-de-obra também tendem a ser menores nas localidades de menor porte do que nas grandes aglomerações urbanas.

A consideração de tais diferenças, entretanto, é de difícil execução, dada a indisponibilidade de dados precisos acerca do tema.

O modelo desenvolvido é capaz de lidar com tais distinções entre os custos de operação de fábricas e usinas, por ser definido por município candidato, e não como parâmetro genérico para todas as instalações.

Um estudo complementar a esta dissertação pode analisar quais são os reais percentuais de variação entre os custos de investimentos nas diversas localidades. É possível abordar, além do custeio das atividades operacionais do empreendimento (investimento e custo de operação), as questões tributárias e os incentivos governamentais. Como o biodiesel é um segmento novo da economia, existem vários programas governamentais de estímulo a instalação de unidades industriais nos mais diversos Estados da federação.

7.2.4. Custo de estocagem

Não foram considerados os custos de estocagem de matéria-prima na cadeia produtiva. Esta premissa reduz a complexidade do modelo, mas introduz um fator de erro difícil de precisar.

Nos resultados obtidos, pode-se observar que as fábricas operam basicamente com um tipo de oleaginosa (com raras exceções).

As colheitas de produtos agrícolas são realizadas em períodos curtos (a soja, por exemplo, é colhida na maior parte do país entre os meses de fevereiro e maio – com grande concentração percentual entre fevereiro e março – vide BARROS;OSAKI (2006). A única exceção das oleaginosas estudadas é o dendê, cuja extração ocorre praticamente durante os 12 meses do ano.

Uma fábrica que opere com apenas uma oleaginosa, tem, portanto, duas alternativas: estocar a produção própria de oleaginosa para produção ao longo de todo o ano (o que implica manter estoque, em alguns casos, suficientes para até 8 meses de produção) ou comprar o produto no mercado em épocas fora da safra (geralmente por um preço mais alto que o custo de produção). As duas alternativas geram custos adicionais difíceis de mensurar neste momento.

Potencialmente, estes custos extras podem viabilizar a produção de outras oleaginosas na região (desde que o custo extra por tonelada de óleo produzida seja menor que o custo de estocagem). Este fato pode alterar a configuração logística, pois regiões com custo por tonelada de óleo mais alta podem se tornar uma boa alternativa, desde que tenham flexibilidade de prover oleaginosas de custo de intermediário, mas com produção distribuída ao longo do ano.

O desenvolvimento de um modelo multi-período (com periodicidade mensal) com consideração de custo de estocagem de matéria-prima é capaz de analisar esta condição. A dúvida é sobre a capacidade computacional necessária para se viabilizar a simulação de um problema com esta complexidade.

Esta é uma linha de pesquisa muito interessante para ser desenvolvida em novos estudos, pois proporciona um avanço grande na interpretação da dinâmica real de funcionamento das operações da cadeia modelada.

7.2.5. Custo de frete

Os custos de frete utilizados não levaram em consideração as origens e destinos, mas somente a distância entre os diversos elos da rede logística. Como comprovado por GAMEIRO (2003) e CASTRO (2003) este fator é importante na determinação do custo efetivo do frete.

A variação do custo de frete é um aspecto muito difícil de ser simulado, na medida em que a demanda e a capacidade das mais diversas origens vão se alterando ao longo do tempo. Assim, empreendimentos de grande porte em regiões distantes das rotas tradicionais, podem inicialmente gerar um custo de frete muito alto, por não proporcionarem frete de retorno. Com o desenvolvimento econômico gerado pelo avanço do agronegócio, entretanto, a correlação de fretes “vazios” tende a ser alterada radicalmente.

Um estudo interessante seria uma análise do comportamento do mercado de frete em regiões de fronteira agrícola. O Brasil é um país pródigo em exemplos desta natureza, pois de tempos em tempos, regiões inteiras são incorporadas ao agronegócio. Um estudo de caso interessante seria a região oeste da Bahia, onde uma área de cerrado foi “descoberta” e desenvolvida em menos de duas décadas. O estudo do comportamento do mercado de fretes nesta região, e em diversos outros casos similares, pode ser utilizado para se medir o sobrepreço que pode ser inserido na simulação dos custos logísticos destas regiões. Este é um aspecto particularmente interessante, na medida em que o grande potencial de produção de oleaginosas se encontra em regiões mais distantes dos principais centros urbanos.

8. Bibliografia

ABOISSA (2007), Informativos e Notícias – farelos. Disponível no site <<http://www.aboissa.com.br/InformativoseNoticias/CotaçõesdeMercado/Farelos/tabid/143/language/pt-BR/Default.aspx>>. Consulta em 10/01/2008.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA)(2004) – “**Biofuels for transport – an international perspective**”. Livro eletrônico disponível no site <<<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>>>. Acesso em 31/07/2007.

Agência Nacional de petróleo (2007a). **Indicadores e estatísticas na indústria brasileira de petróleo**. Disponível no site <<http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos>>. Consulta em Julho/2007.

Agência Nacional de petróleo (2007b). **Indicadores e estatísticas na indústria brasileira de petróleo**. Disponível no site <<http://www.anp.gov.br/doc/petroleo/abastecimento/Revenda/volume_combustiveis_2006.pdf>>. Consulta em Julho/2007.

ABOOLIAN, R.; BERMAN, O.; KRASS, D. (2007), **Competitive facility location and design problem**. European Journal of Operational Research, v 182, pgs: 40-62

AVERBAKH, I.;BERMAN, O. (1997), **Minimax regret P-center location on a network under uncertainty**. Working paper.

BALLOU, R. H. (2001), **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial** – Bookman, 4ª edição

BARROS, G. S. C., OSAKI, M. et al (2006), Custos de produção de biodiesel no Brasil. Revista de Política Agrícola – Ano XV, ed 3 – jul-set 2006.

BASTOS, T. X. (2001), **Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.564-570

BRANDEAU, M. L.; S.S. CHIU. (1989) **An overview of representative problems in location research**. Management Science, v 35, num. 7, pgs. 645-674

BROOKE, A., KENDRICK,D., MEERUS, A.(1997), **GAMS:Sistema Geral de Modelagem Algébrica**. Editora Edgard Bucher Ltda, 1ª edição.

CARAMONI, P. H. (2006), **Zoneamento agroclimático das principais plantas oleaginosas do Brasil**. Apresentação no II Simpósio do agronegócio de plantas oleaginosas, Esalq (USP), 09/05/2006 a 10/05/2006. Disponível no site <<<http://www.ciagri.usp.br>>>. Acesso em junho de 2.007.

CASTRO, Newton (2003), **Formação de preços no transporte de carga**. Pesquisa e Planejamento Econômico, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 331-350, 2003.

COHEN, M. A.;LEE, H. L. (1985), **Manufacturing Strategy: concepts and methods**. In: P.R.Kleindorfer (ed.), *The management of productivity and technology in manufacturing*, 153-188

CONAB (2008a), **Centro de informações agropecuárias/Safras/grãos**. Disponível no site << <http://www.conab.gov.br>>>. Acesso em 24/03/2008.

CONAB (2008b), **Centro de informações agropecuárias/Indicadores agropecuários/custos de produção/safra de verão 2008/2009**. Disponível no site << <http://www.conab.gov.br>>>. Acesso em 24/03/2008.

DANTZIG, G.B. (1963) – **Linear Programming and extensions**. Princeton, Princeton University Press.

DEDINI S.A (2007), **Biodiesel: Plantas Contínuas – Custos e Rendimentos**. Apresentação na SIMTEC 2007, disponível no site <<<http://www.dedini.com.br>>>. Acesso em 23/07/2007.

EMBRAPA ALGODÃO (2007), **Custo de produção da mamona**, disponível no site <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>>. Acesso em 05/08/2007.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO (2007), **Sistemas de produção e coeficientes técnicos da mamona no RS**, Disponível no site <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/sistemas.htm>>. Acesso em 30/07/2007.

EMBRAPA OESTE (2007), **Estimativa do custo de produção de girassol, safra 2007**. Disponível no site <<<http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes>>>. Acesso em 30/07/2007.

FERRES, J. (2004), **Competitividade econômica e marco regulatório para o biodiesel**, Workshop, SMA, São Paulo.

GAMEIRO, Augusto Hauber (2003), **Índice de preço para o transporte de carga: o caso da soja a granel**. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

GOLDEMBERG, J., (1982) **Balanço energético da produção de combustíveis de óleos vegetais**, Instituto de Física/USP, pré-print no 323, São Paulo.

GUALDA, N. D. F. (1995), **Terminais de transportes: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional**, Tese de livro docência, EPUSP.

HAMAD, Ricardo. (2006), **Modelo para localização de instalações em escala global envolvendo vários elos da cadeia logística**, Dissertação de mestrado, departamento de engenharia de transportes, sistemas logísticos, EPUSP.

IBGE (2002), **Resolucao PR Areas Municipios_Estados_Brasil**, Resolução num.5 de 10/10/2002. Disponível no site << <http://www.ibge.gov.br>>>. Acesso em Julho 2007.

IBGE (2007), **SIDRA**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em Julho 2007.

IBGE (2008), **Mapas**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<<http://mapas.ibge.gov.br/divisao/viewer.htm>>>. Acesso em Maio 2008.

LEIRAS, A., HAMACHER, S., SCAVARDA, L.F.(2006), **Avaliação econômica da cadeia de suprimentos do biodiesel: estudo de caso da dendeicultura na Bahia**. Publicado em BAHIA ANÁLISE & DADOS, Salvador, v. 16, n. 1, p. 119-131, jun. 2006.

OWEN, S. H.; DASKIN, M. S., **Strategic facility location: A review**. European Journal of Operation Research, v 111, pgs 423-447.

KAWAMURA, M.; RONCONI, D.P.; YOSHIZAKI, H.T.Y. **Optimizing transportation and warehousing of final products in the sugar and ethanol industry**. International transaction in operational research, v 13, num. 5, pg 425-439

MORETTO, E., Alves, R. F. (1986), **Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises**, Editora da UFSC, Florianópolis.

NOGUEIRA, L.A.H. (2004), **Perspectivas de um programa de biocombustíveis em América Central**. CEPAL/GTZ, Ciudad de México.

MARTOS, A. (2000), **Projeto de redes logísticas com consideração e estoques e modais: aplicação de programação linear inteira mista à indústria petroquímica**. Dissertação de mestrado, departamento de engenharia de produção, EPUSP.

MAPA (2007). **Zoneamento Agrícola – safra 2007/2008**. Disponível no site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em <<<http://www.agricultura.gov.br/>>> . Consulta em 23/07/2007.

Ministério da ciência e Tecnologia (2005). **Relatórios finais do grupo de trabalho interministerial – biodiesel**. Disponível no site <<<http://www.biodiesel.gov.br/rede>>> . Consulta em Dez/2005.

Ministério da ciência e tecnologia (2005). **Revista do Núcleo de Assuntos Estratégicos, v2, ano 2004 – “Biocombustíveis”**. Disponível no site <<<http://www.mct.gov.br/>>>. Consulta em Dez/2005.

OILENERGY (2007), **ICE Brent crude oil closing pricing**. Disponível no site <<<http://www.oilenergy.com>>>. Acesso em 31/07/2007.

PARENTE, E. J. S. (2003), **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Livro eletrônico disponível no site <<<http://www.tecbio.com.br/artigos>>>. Acesso em 30/07/2007.

PENTEADO, M. C. P. S. (2005), **Identificação de gargalos e estabelecimento de um plano de ação para o sucesso do Programa Brasileiro do Biodiesel**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PETROBIO (2005), **Biodiesel: Viabilidade econômica**. Disponível no site <<www.plantebiodiesel.com.br/MANUAIS%20DO%20CD/27%20-%20BIODIESEL%20-%20VIABILIDADE%20ECONOMICA-para%201000>>. Acesso em 20/06/2007.

PIGHNELLI, ANNA LETÍCIA MONTENEGRO TURTELLI (2007), **Extração mecânica de óleos de amendoim e de girassol para produção de biodiesel via catálise básica**, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, São Paulo.

REVELLE, C. S. et al. (2007), **A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science**. European Journal of Operations Research, doi:10.1016/j.ejor.2.006.12.044

ROCHA, H. M. A (2005), **Produção de oleaginosas na Bahia e sua inserção no Programa Biodiesel**. SEAGRI, Salvador,.Apresentação. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/palestra_oleoginosas.pdf>> Acesso em: julho/2007.

SARTORI, Marco Antônio (2007), **Análise de cenários de extração de óleo vegetal para produção de biodiesel na região norte de Minas Gerais**, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SHAPIRO, Jeremy F. (2001), Modeling the supply chain. Pacific Grove CA: Duxbury press.

SIFRECA (2007), **Sistema de informações de fretes, ESALQ – USP**. Disponível no site <<<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/fretes/momentos/index.php>>>. Consulta em 30/07/2007.

SILVA, José Stanley de Oliveira (2006), **Produtividade de óleo de palma na cultura do dendê na Amazônia Oriental: influência do clima e do material genético**, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, Mariana Bergmann da (2007), **Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS**, Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo.

SINDICOM (2007), **Vendas de Combustíveis pelas associadas do Sindicom e Mercado ANP**. Disponível no site <<<http://www.sindicom.com.br>>>. Acesso em julho/2007.

UNICA (2007), **União da indústria de cana-de-açúcar – dados e cotações – estatísticas**, disponível no site << <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>>. Acesso em 08/01/2008.

VIANNA, F. C. (2006) **Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e do petrodiesel**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP.

ZAINUDDIN, Z. M. ; SALHI, S. (2007), **A perturbation-based heuristic for the capacitated multisource Weber problem**. European Journal of Operations Research, v. 179, pgs: 1.194-1.207.

WINSTON, W.L. (1997) **Operations Research**. Belmont CA: Duxbury Press, 2a edição.

WINSTON, W.L. (1995), **Introduction to Mathematical Programming; Applications and Algorithms**, Duxbury Press, 2nd edition,.

WUST, Elisiane (2004), **Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos**, Dissertação de mestrado, Universidade regional de Blumenau, Blumenau.

YOSHIZAKI, H.T.Y. (2002), **Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do ICMS**, Tese de livre docência, Escola Politécnica da USP, São Paulo.