

Raphael Riemke de Campos Cesar Leão

**Otimização da Cadeia de Suprimentos do Biodiesel
Baseada na Agricultura Familiar**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção do
Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Silvio Hamacher

Rio de Janeiro
Agosto de 2009

Raphael Riemke de Campos Cesar Leão

**Otimização da Cadeia de Suprimentos do Biodiesel
Baseada na Agricultura Familiar**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da PUC-
Rio.

Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Silvio Hamacher

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial -PUC-Rio

Prof. Madiagne Diallo

Departamento de Engenharia Industrial -PUC-Rio

Eduardo Homem de Siqueira Cavalcanti

INT

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de agosto de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Raphael Riemke de Campos Cesar Leão

Graduou-se em Engenharia Mecânica e de Automóvel pelo IME (Instituto Militar de Engenharia) em 2003. Foi admitido na Petrobras como Engenheiro de Equipamentos em 2004. Atuou na concepção e acompanhamento de projetos tecnológicos para desenvolvimento de mercado de gás natural. Participou da elaboração da estrutura de suprimento agrícola para início da produção de biocombustíveis pela Petrobras. Trabalha na área de comercialização e logística agrícola da Petrobras Biocombustível.

Leão, Raphael Riemke de Campos Cesar

Otimização da cadeia de suprimentos do biodiesel baseada na agricultura familiar / Raphael Riemke de Campos Cesar Leão ; orientador: Silvio Hamacher. – 2009.

101 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Biodiesel. 3. Agricultura familiar. 4. Programação estocástica. 5. Cadeia de suprimentos. 6. Mamona. +I. Hamacher, Silvio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD:658.5

Para Fabiano, Sinhá Vitória e Baleia.

Resumo

Leão, Raphael R. de C. C., Hamacher, Silvio. **Otimização da Cadeia de Suprimentos do Biodiesel Baseada na Agricultura Familiar**. Rio de Janeiro, 2009. 101p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação tem como objetivo determinar uma estrutura de arranjos produtivos de óleos vegetais com vistas ao suprimento de uma usina produtora de biodiesel, levando em consideração aspectos agrícolas, logísticos e industriais, mediante elaboração e aplicação de um modelo de otimização com programação estocástica como ferramenta de apoio à tomada de decisão. A solução consiste de indicações de dois níveis: dimensionamento - quantidade, porte, tecnologia – e localização de unidades de esmagamento de grãos e distribuição de produção agrícola para atendimento à demanda da usina. O modelo elaborado foi aplicado em um estudo de caso para produção e esmagamento de mamona no estado de Minas Gerais, considerando-se como destino do óleo uma usina de biodiesel localizada no município de Montes Claros e como zonas produtoras de grãos as microrregiões da parte norte do estado. A solução básica foi considerada para o caso determinístico e seguiram-se análises de sensibilidade a alguns parâmetros selecionados, tais como: custos de frete, aumento nos custos de investimento e aumento na demanda da usina, além de restrições de cunho social relativas ao número de famílias atendidas anualmente pelo processo de aquisição de grãos. Finalmente a opção pelo modelo estocástico é analisada, considerando-se aspectos probabilísticos para os valores de produtividade agrícola. Seguem-se considerações a respeito da relevância da aplicação deste modelo por meio de mensuração dos indicadores EVPI e VSS.

Palavras-chave

Biodiesel, Agricultura Familiar, Programação Estocástica, Cadeia de Suprimentos, Mamona.

Abstract

Leão, Raphael R. de C. C., Hamacher, Silvio. **Optimization of Biodiesel Supply Chain Based on Small Farmers**. Rio de Janeiro, 2009. 101p. M.Sc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present dissertation intends to determine a structure for vegetable oils production and supply of biodiesel plants – from crops seeds distribution to oil extraction – regarding agricultural, logistics and industrial aspects. For that purpose, a computational model considering a stochastic approach was designed and implemented as a tool for decision making. A two level solution is provided: oil extraction plants are detailed for their size, technology, number of units and location, as well as crops production is geographically distributed in order to respond to the biodiesel plant annual demand. The designed model was then tested in a case study considering castor seeds plantation in the northern part of Minas Gerais state for supply of a biodiesel plant located in the city of Montes Claros. Basic solution was known for a deterministic scenario and was followed by sensibility analyses for some selected parameters such as freight costs, investment costs increase and biodiesel plant demand increase. Some other social restrictions were also considered regarding, for example, a minimum number of farmers contracted annually. Finally some aspects relating to yield variations and probabilities were treated using the stochastic model, and the option for this kind of modeling was then analysed based in two important measurements: EVPI and VSS.

Keywords

Biodiesel, Stochastic Programming, Supply Chain, Castor Seed.

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Objetivos	13
1.2. Organização do Trabalho	13
2. Revisão Bibliográfica	14
2.1. Características do Produto	14
2.2. Características do Processo Produtivo	15
2.3. Situação e Perspectivas do Biodiesel no Mundo	17
2.4. Cadeia Produtiva de Biodiesel no Brasil	20
2.5. O Mercado de Mamona no Brasil e no Mundo	22
3. Biodiesel e Agricultura Familiar no Brasil	24
3.1. Agricultura Familiar e Seus Desafios	24
3.2. Logística e Esmagamento de Grãos da Agricultura Familiar	27
4. Contextualização do Estudo	29
5. Apresentação do Estudo de Caso	31
5.1. Metodologia	31
5.2. Especificação dos Dados	36
5.3. Compilação dos dados	41
6. Modelagem	54
6.1. Estrutura de Dados	54
6.2. Formulação Matemática	56
7. Resultados	60
7.1. Desempenho computacional	61
7.2. Apresentação dos resultados para o cenário base	61
7.3. Apresentação de análises de sensibilidade	66
7.3.1. Variações nos custos de frete de grãos	67
7.3.2. Variações nos custos de instalação	67
7.3.3. Variações na demanda da usina	68
7.3.4. Variações nas restrições sociais	69
7.4. Apresentação de resultados para o modelo estocástico	70
7.4.1. Medidas de agregação de valor do modelo estocástico	71
7.5. Síntese dos resultados	73
8. Conclusões	76
8.1. Recomendações para trabalhos futuros	78
9. Referências Bibliográficas	80
10. ANEXO I – REGISTRO DE DADOS	82
11. ANEXO II – RESULTADOS DE ANÁLISES DE SENSIBILIDADE	90

Lista de Tabelas

Tabela 1: Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida de biodiesel B20. Fonte: FRIEDRICH (2004).	15
Tabela 2: Dados de entrada compilados para inserção no modelo	32
Tabela 3: Cenários para análise de sensibilidade	36
Tabela 4: Dados de produção agrícola	37
Tabela 5: Dados industriais de esmagamento	39
Tabela 6: Dados de transportes de grãos e óleo	40
Tabela 7: Restrições de controle do usuário	40
Tabela 8: Microrregiões selecionadas para zonas produtivas	42
Tabela 9: Locais das esmagadoras considerados	43
Tabela 10: Propriedades médias e limites de tamanho por módulos fiscais. Fonte: MDA (2007)	45
Tabela 11: Dados de produtividade agrícola para produção de mamona, em toneladas por hectare	45
Tabela 12: Produtividades agrícolas consideradas, por microrregião	46
Tabela 13: Reduções percentuais e probabilidades para produtividade agrícola, por cenários	47
Tabela 14: Dados de custos de produção agrícola para mamona	47
Tabela 15: Custos de produção totais, por microrregião	48
Tabela 16: Áreas disponíveis para produção por microrregião, por ano	49
Tabela 17: Rendimentos de matérias-primas esperados	50
Tabela 18: Eficiências de extração esperadas	50
Tabela 19: Custo industrial de produção para óleo de mamona tipo I (em R\$/tonelada)	51
Tabela 20: Investimentos em instalações de esmagamento de grãos (em milhões de R\$)	52
Tabela 21: Caracterização dos parâmetros do modelo	57
Tabela 22: Caracterização das variáveis do modelo	58
Tabela 23: Dados básicos do modelo matemático implementado	61
Tabela 24: Valores da função objetivo para abordagens WS, RP e EEV (em R\$ milhões)	72
Tabela 25: Localização e capacidade instalada das esmagadoras	74
Tabela 26: Dados históricos de área plantada de mamona em Minas Gerais. Fonte: IBGE (2007)	82
Tabela 27: Dados históricos de quantidade produzida de mamona em Minas Gerais. Fonte: IBGE (2007)	83
Tabela 28: Dados históricos de produtividade de mamona em Minas Gerais. Fonte: IBGE (2007)	84
Tabela 29: Produtividades de mamona consideradas no modelo (em toneladas/ano)	84
Tabela 30: Custos de produção agrícola considerados no modelo (em R\$/hectare)	85
Tabela 31: Características fundiárias das microrregiões. Fonte: IBGE (1996)	86
Tabela 32: Áreas ociosas nas microrregiões. Fonte: IBGE (1996).	87
Tabela 33: Efetivo dos rebanhos por estado. Fonte: IBGE (2006)	87
Tabela 34: Características da pecuária nas microrregiões e áreas liberadas por concentração de cabeças. Fonte: IBGE (2006)	88

Tabela 35: Custos de investimento em instalações industriais de esmagamento de grãos (em R\$ mil).	89
Tabela 37: Área utilizada em cada zona produtiva (em hectares e % de área disponível), frete 50% a menor	90
Tabela 38: Número de famílias contratadas em cada zona produtiva, frete 50% a menor	91
Tabela 39: Área utilizada em cada zona produtiva (em hectares e % de área disponível), frete 50% a maior	92
Tabela 40: Número de famílias contratadas em cada zona produtiva, frete 50% a maior	93
Tabela 41: Área utilizada em cada zona produtiva (em hectares e % de área disponível), demanda 50% a maior	94
Tabela 42: Número de famílias contratadas em cada zona produtiva, demanda 50% a maior	95
Tabela 43: Área utilizada em cada zona produtiva (em hectares e % de área disponível), demanda 100% a maior	96
Tabela 44: Número de famílias contratadas em cada zona produtiva, demanda 100% a maior	97
Tabela 45: Área utilizada em cada zona produtiva (em hectares e % de área disponível), número de famílias com redução gradativa	98
Tabela 46: Número de famílias contratadas em cada zona produtiva, número de famílias com redução gradativa	99
Tabela 47: Área utilizada em cada zona produtiva (em hectares e % de área disponível), quantidade mínima de famílias contratadas	100
Tabela 48: Número de famílias contratadas em cada zona produtiva, quantidade mínima de famílias contratadas	101

Lista de Figuras

Figura 1: Matérias-primas para produção de biodiesel por transesterificação. Fonte: HOLANDA (2004)	16
Figura 2: Cadeia produtiva do biodiesel. Fonte: GARCIA (2007).	17
Figura 3: Estágios de desenvolvimento da produção de biodiesel no mundo. Fonte: FRIEDRICH (2004).	18
Figura 4: Projeções de produção de biodiesel no mundo. Fonte: USDA (2008).	19
Figura 5: Localização de esmagadoras e refinadoras de óleo. Fonte: COOPEAD (2007)	20
Figura 6: Capacidade nominal e produção de biodiesel no Brasil. Fonte: ANP (2009)	21
Figura 7: Produção mundial de grãos de mamona, em toneladas. Fonte: FAOSTAT (2009)	22
Figura 8: Delimitação do semiárido brasileiro. Fonte: MIN (2009)	30
Figura 9: Representação esquemática da modelagem para o estudo de caso	35
Figura 10: Mapa das microrregiões selecionadas para zonas produtivas	42
Figura 11: Mapa dos locais de esmagadoras selecionados	44
Figura 12: Representação esquemática do procedimento de elaboração e resolução do problema	54
Figura 13: Relacionamentos entre tabelas de dados (parâmetros)	55
Figura 14: Relacionamentos entre tabelas de dados (variáveis de decisão)	56
Figura 15: Áreas produzidas por microrregião em 2009 e 2018	62
Figura 16: Distribuição de área plantada por zona produtiva no cenário base	62
Figura 17: Quantidade de famílias atendida anualmente	63
Figura 18: Áreas de influência das esmagadoras em 2009 e 2018	65
Figura 19: Utilização das esmagadoras	65
Figura 20: Suprimento da usina de biodiesel, por origem	66
Figura 21: Quantidade de famílias atendidas anualmente	70
Figura 22: Investimento total em capacidade produtiva	73

*E não há melhor resposta
que o espetáculo da vida:
vê-la desfiar seu fio,
que também se chama vida,
ver a fábrica que ela mesma,
teimosamente, se fabrica,
vê-la brotar como há pouco
em nova vida explodida
mesmo quando é assim pequena
a explosão, como a ocorrida
como a de há pouco, franzina
mesmo quando é a explosão
de uma vida severina.*

João Cabral de Melo Neto, *Morte e Vida Severina*