

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Anna Lúcia
Mourad E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 11 / 06 / 2008

Arwalter
.....
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação da Cadeia Produtiva de Biodiesel obtido a partir da Soja

Autor: Anna Lúcia Mourad
Orientador: Arnaldo César da Silva Walter

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

Avaliação da Cadeia Produtiva de Biodiesel obtido a partir da Soja

Autor: Anna Lúcia Mourad

Orientador: Arnaldo César da Silva Walter

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos.

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2008
S.P . – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M866a Mourad, Anna Lúcia
Avaliação da cadeia produtiva de biodiesel obtido a partir da
soja / Anna Lúcia Mourad.--Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Arnaldo César da Silva Walter.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Biodiesel. 2. Soja. 3. Análise energética. I. Walter,
Arnaldo César da Silva.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

Titulo em Inglês: Evaluation of soybean biodiesel productive chain

Palavras-chave em Inglês: Biodiesel, Soybean, Energy analysis.

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos.

Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Luiz Augusto Horta Nogueira, Sergio Valdir Bajay, Leda
Colto e Weber Amaral.

Data da defesa: 11/6/2008.

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

TESE DE DOUTORADO

**Avaliação da Cadeia Produtiva de
Biodiesel obtido a partir da Soja**

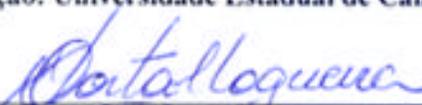
Autor: Anna Lúcia Mourad

Orientador: Arnaldo César da Silva Walter

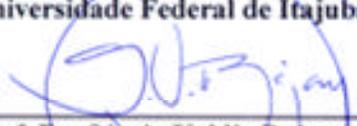
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:



Prof. Dr. Arnaldo César da Silva Walter, Presidente
Instituição: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira
Universidade Federal de Itajubá. Instituto de Recursos Naturais



Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay
Instituição: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dra. Leda Coltro
Instituição: Instituto de Tecnologia de Alimentos. Centro de Tecnologia de Embalagem



Prof. Dr. Weber Amaral
Instituição: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Campinas, 11 de junho de 2008

Dedicatória

Dedico este trabalho às minhas filhas Gabriela e Giovana, que simbolizam a presença divina na minha vida e na de meu querido companheiro Renato. Dedico este trabalho a esta nova geração para quem estaremos transferindo a responsabilidade de cuidar deste planeta mais consciente do custo ambiental que as nossas vidas representam para a mãe terra e todos os seus habitantes.

Agradecimentos

Dos meus queridos pais ganhei uma herança biológica que definiu as minhas características físicas e uma estrutura de valores que me nortearam ao longo destes anos. Com o passar do tempo, entretanto, venho sendo profundamente alterada por todas as experiências que passo e principalmente pelas muitas pessoas que passaram ou fazem parte de minha vida. São tantas e tão importantes, que prefiro não nomeá-las para não me esquecer de ninguém. Agradeço assim a todos que fazem parte de minha vida e que me auxiliaram a ser o que sou e particularmente me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. Obrigada a todos.

Resumo

MOURAD, Anna Lúcia, *Avaliação da cadeia produtiva de biodiesel a partir da soja*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 123 p. Tese (Doutorado)

A introdução do biodiesel no Brasil é motivada principalmente pela possibilidade de desenvolvimento econômico e social para o país, com geração de emprego e renda, além dos benefícios ambientais decorrentes da substituição de recursos fósseis por renováveis. Embora o programa tenha grande incentivo governamental, há dúvidas sobre a viabilidade econômica do mesmo e sobre seus reais benefícios. O programa prevê a obtenção do biocombustível a partir de diferentes oleaginosas como dendê, mamona, amendoim, soja, algodão, girassol, etc. Entretanto, em função da grande produção de soja no país (58,7 milhões de toneladas na safra de 2007/2008), aproximadamente 80% do volume total de biodiesel comercializado no país é produzido a partir da soja. O objetivo deste trabalho foi avaliar a cadeia produtiva de biodiesel de soja dentro de uma abordagem de ciclo de vida, envolvendo a etapa agrícola, a extração de óleo e a transesterificação do mesmo para obtenção do biocombustível, bem como determinar o balanço energético para a sua produção. O estudo envolveu coleta de dados em cinco fazendas produtoras de soja (localizadas no estado de São Paulo) e uma empresa produtora de biodiesel a partir de óleo de soja. Os dados relativos à etapa de extração do óleo foram estimados, principalmente, a partir de dados estatísticos representativos do setor produtivo de soja. O estudo revelou um balanço energético favorável para a produção do biodiesel de soja, ou seja, gera-se mais energia renovável do que se consome de energia fóssil. O balanço foi obtido considerando a alocação de 18% dos insumos necessários para a produção do óleo e de 82% para a obtenção do farelo de soja, valioso co-produto desta cadeia produtiva. A produção de biodiesel, que em sua essência visa substituir o diesel como combustível,

entretanto, aumenta o uso do próprio diesel, pois o combustível fóssil é utilizado na operação das máquinas agrícolas e nas etapas de transporte. Os resultados obtidos mostram que a introdução do biodiesel na matriz energética do país tem impactos significativos no uso, na transformação e na ocupação de terras e nas emissões para a água e para o ar. Portanto, embora seja de origem renovável, também tem um custo ambiental, mas diferente dos combustíveis fósseis. Particularmente, a introdução do biodiesel a partir da soja, tem o benefício de produzir um farelo altamente protéico, de elevado valor comercial como ingrediente para rações animais, e que, portanto, está indiretamente ligada a produção de carnes para alimentação humana. Assim, pode-se dizer que, tanto o biodiesel como o farelo resultante desta cadeia, tem fluxo estabelecido nos atuais padrões de consumo e uso do país. A glicerina gerada no processo, (aproximadamente 11% da massa do biodiesel), não é atualmente consumida, embora existam várias pesquisas em andamento para a sua valorização e uso. A soja, por suas características agronômicas, entretanto, não se configura como uma cultura viável para pequenos produtores agrícolas, pois exige grandes extensões de terra e elevado grau de mecanização. Os resultados deste trabalho revelam diferentes aspectos desta cadeia produtiva que devem ser considerados e bem gerenciados para a condução do programa governamental.

Palavras Chave: biodiesel, soja, abordagem de ciclo de vida, balanço energético

Abstract

MOURAD, Anna Lúcia, *Evaluation of soybean biodiesel productive chain*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 123 p. Tese (Doutorado)

The introduction of biodiesel in Brazil is mainly motivated by the possibility of economic and social development for the country, with employment and income generation, as well as environmental benefits due to replacement of fossil fuels by renewable resources. Although biodiesel has great government incentive, there are doubts about its economic viability and real benefits. The government plan includes manufacturing of this fuel from different crops such as palms, castor beans, peanuts, soybeans, coconuts, cotton and sunflower. However, due to the huge volume of soybean production in the country (58.7 million tons in 2007/08), approximately 80% of the total biodiesel volume is produced starting from this source. The objective of this study was to evaluate the soybean biodiesel chain in relation to its technical and economic aspects using a life cycle approach, including stages from agriculture, oil extraction and oil transesterification to obtain biodiesel. Data was collected from five farms located in São Paulo State and one industrial unit that produces soy methyl ester from soybean oil. Oil extraction was estimated mainly using statistical data from the Brazilian industry sector. A favorable energy balance was found for soybean production showing that more renewable energy is produced than fossil energy is consumed. This favorable balance was achieved with an allocation of 18% of total input for the oil production itself and 81% to obtain soybean meal, a valuable co-product of this productive chain. Although biodiesel is introduced to reduce dependence of fossil fuels, biodiesel production process actually increases the use of petroleum diesel which is used in agricultural machinery and transport steps. Biodiesel introduction in the Brazilian energy grid have significant environmental impacts such as land use, land transformation and emissions to air and water. Therefore, although it has a renewable origin,

biofuel also has an environmental cost, but different to that of fossil fuels. In particular, the production of biodiesel from soybeans has the benefit of high protein meal co-product generation that has great economic value as ingredient for animal feed. As a consequence, it has a direct link with meat production for human consumption. So, it is clear that both product (biofuel) and co-product (meal) already have established markets. Glycerin generated in the process, (approximately 11% of biodiesel mass) is not consumed in the internal market, although there are several developments for new viable uses. Soybean is not considered as a suitable crop for small farmers as it requires a high mechanization level and large extensions of land. The findings of this study show that different aspects of this productive chain must be considered to support important government policy decisions.

Key words: biodiesel, soybean, life cycle approach, energy balance

Índice

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvi
Introdução	1
Capítulo 1	3
A necessidade de novas fontes de energia	3
1.1 A crise do petróleo	3
1.2 O aquecimento global.....	5
1.3 A mitigação do efeito estufa	8
1.4 O uso de biodiesel em outros países	8
1.4.1 O uso de biocombustíveis na União Européia	8
1.4.2 O uso de biodiesel nos Estados Unidos	10
Capítulo 2	12
A introdução do biodiesel como substituto do diesel	12
2.1 A definição de biodiesel	12
2.2 O uso obrigatório de biodiesel	13
2.3 Características técnicas do biodiesel.....	13
2.4 Características técnicas do diesel.....	16
2.5 Avaliação da demanda de biodiesel como substituto do diesel.....	20
2.5.1. O mercado de diesel no Brasil	20
2.5.2. Principais setores consumidores de diesel	21
2.5.3. Estimativa da demanda de biodiesel.....	24
Capítulo 3	25
Algumas considerações sobre o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel	25
3.1 Considerações econômicas relativas a algumas culturas de plantas oleaginosas	25
3.1.1 Preço médio de algumas oleaginosas	25
3.1.2 Os leilões de biodiesel	26
3.1.3 A produção de óleos vegetais no Brasil.....	28
3.1.4 Biodiesel e óleos vegetais – uma avaliação de preços	29
3.2 Potenciais plantas oleaginosas para a produção de biodiesel	30
3.2.1 Soja (<i>Glycine max</i>)	30
3.2.2 Girassol (<i>Helianthus annuus</i>).....	31
3.2.3 Coco (<i>Cocos nucifera</i>).....	31
3.2.4 Dendê (<i>Elaeis guineensis</i>)	32
3.2.5 Canola (<i>Brassica napus</i>).....	33

3.2.6 Pinhão-manso (<i>Jatropha curca</i>).....	34
3.3 Panorama da produção atual das principais oleaginosas	35
3.4 Distribuição geográfica das principais oleaginosas	36
3.5 Rendimento médio das principais oleaginosas	37
3.6 Potencial de participação das regiões geográficas	39
3.7 Rendimento em óleo & aspectos ambientais	40
3.8 Estimativa do aumento da produção de oleaginosas para suprir demanda de biocombustíveis	41
3.9 A opção pela soja	42
Capítulo 4.....	43
Princípios da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida e o balanço energético	43
4.1 A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida	43
4.1.1 As fases da ACV	45
4.1.2 Aspectos importantes de uma ACV	45
4.1.3 Conceitos gerais de sistemas de produtos.....	46
4.1.4 Objetivo e escopo	46
4.1.5 Unidade funcional	48
4.1.6 Fronteiras do sistema	48
4.1.7 Qualidade dos dados.....	48
4.1.8 Inventário de Ciclo de Vida (ICV).....	49
4.1.9 Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)	49
4.1.10 Interpretação de Ciclo de Vida.....	49
4.2 Balanço energético – uma revisão	50
4.2.1 O método para cálculo do balanço	50
4.2.2 Estudos realizados envolvendo balanço energético	51
Capítulo 5.....	54
Levantamento de dados da cadeia produtiva do biodiesel a partir da soja.....	54
5.1 A obtenção dos grãos de soja.....	54
5.1.1 O cultivo da soja.....	54
5.1.2 Secagem dos grãos	55
5.1.3 Coleta de dados do cultivo agrícola	56
5.2 A obtenção do óleo de soja	58
5.2.1 Preparação do grão	58
5.2.2 Extração do óleo.....	59
5.2.3 Degomagem ou deslecitinação do óleo	61
5.2.4 Neutralização do óleo bruto	61
5.2.5 Coleta de dados	62
5.3 A obtenção do biodiesel de soja.....	63
5.3.1 A conversão do óleo	63
5.3.2 Transesterificação.....	65
5.3.3 Coleta de dados	69
5.4 Inventário final dos principais insumos e produtos	70
5.5 Etapas de transporte na cadeia de produção do biodiesel de soja	72
Capítulo 6.....	74
Balanço energético da cadeia produtiva do biodiesel a partir da soja.....	74

6.1 Modelagem utilizada para a determinação do balanço energético	74
6.2 Balanço energético para a produção de biodiesel de soja	78
6.3 Balanço energético com alocação por massa dos insumos para o óleo	79
6.3.1 Análise de sensibilidade do balanço energético.....	81
6.4 Balanço energético com alocação por massa incluindo a glicerina	83
6.5 Balanço energético com alocação econômica farelo & óleo e entre biodiesel & glicerina	84
6.6 Comparação dos resultados do balanço com outros estudos.....	85
Capítulo 7.....	88
Principais setores afetados pelo estabelecimento da cadeia produtiva do biodiesel de soja	88
7.1 Principais impactos ambientais associados à cadeia produtiva do biodiesel de soja.....	88
7.1.1 A ocupação de terras pelo plantio da soja	88
7.1.2 O uso de agroquímicos no cultivo da soja	92
7.1.3 O uso de solvente orgânico para a extração do óleo	94
7.1.4 Geração de efluentes.....	95
7.2 O aumento da demanda de diesel.....	96
7.3 A produção de farelo e óleo.....	97
7.3.1 Aspectos econômicos	99
7.4 O aproveitamento da glicerina	101
7.4.1 A glicerina bruta.....	101
7.4.2 Oferta e demanda de glicerina	102
Capítulo 8.....	105
Conclusões.....	105
8.1 Considerações sobre o PNPB	105
8.2 O balanço energético da cadeia produtiva de soja	106
8.3 Principais setores afetados pela cadeia do biodiesel de soja	107
8.4 Limitações do estudo.....	108
8.5 Considerações gerais	109
8.6 Recomendações para políticas públicas	109
Referências Bibliográficas	111

Lista de Figuras

Figura 1.1. Perfil de esgotamento de petróleo e gás.	4
Figura 1.2. Variação do preço do petróleo entre 1970 e 2007.	5
Figura 2.1. Evolução da oferta e demanda de diesel entre 1970 e 2006.	21
Figura 2.2. Uso do diesel por setor.	22
Figura 2.3. Distribuição do consumo de diesel no setor de transportes.	23
Figura 2.4. Evolução do consumo de diesel no setor industrial.	23
Figura 3.1. Preço médio no Brasil pago ao agricultor pela produção de dendê (fruto), amendoim (vagem), mamona (semente), soja (grão) e girassol (grão) a partir de dados do IBGE.	26
Figura 3.2. Comparação dos preços de exportação de alguns óleos com os preços de biodiesel praticados nos leilões.	29
Figura 3.3. Evolução histórica da produção de soja, caroço de algodão e dendê.	35
Figura 3.4. Evolução histórica da produção de mamona, amendoim e coco-da-baía.	36
Figura 3.5. Participação das 5 regiões geográficas brasileiras na produção de dendê, amendoim, mamona, soja, coco-da-baía, caroço de algodão e girassol.	37
Figura 3.6. Evolução do rendimento médio no Brasil das culturas de dendê, amendoim, mamona, soja, coco-da-baía e caroço de algodão.	38
Figura 4.1. Representação esquemática da ACV.	44
Figura 4.2. Exemplo de um sistema de produto para ACV.	47
Figura 5.1. Fluxograma geral do processo de extração do óleo de soja.	60
Figura 5.2. Fluxograma geral do processo de degomagem e neutralização do óleo de soja.	62
Figura 5.3. Equação geral de transesterificação.	65
Figura 5.4. Transesterificação de óleos vegetais.	66
Figura 5.5. Mecanismo de transesterificação por catálise ácida.	67
Figura 5.6. Mecanismo de transesterificação por catálise básica.	68
Figura 5.7. Fluxograma do processo de transesterificação por catálise básica.	69
Figura 5.8. Localização das usinas de biodiesel no Brasil (1º semestre 2008).	73
Figura 6.1. Consumo de energia fóssil nas diversas etapas da cadeia produtiva do biodiesel.	81
Figura 7.1. Ocupação de terras pelos principais produtos das lavouras no Brasil.	89
Figura 7.2. Ocupação relativa de áreas pelas principais lavouras nas 5 regiões geográficas.	91
Figura 7.3. Fórmula estrutural do metamidofós.	93
Figura 7.4. Fórmula estrutural do glifosato.	94
Figura 7.5. Fórmula estrutural do monocrotofós.	94
Figura 7.6. Geração de efluentes na cadeia produtiva para a produção dos biodiesel de soja.	95
Figura 7.7. Aumento da demanda de diesel para produzir o biodiesel de soja.	96
Figura 7.8. Complexo de soja no Brasil. Safra 2006/07. Unidade: milhões de toneladas.	97
Figura 7.9. Evolução do preço médio do grão, do farelo e do óleo de soja entre 2002 e 2007.	101

Figura 7.10. Principais destinos da glicerina vendida no mercado interno.....	102
Figura 7.11. Volumes de importação e exportação de glicerina entre 1998 e 2007.....	103

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Especificação do biodiesel (BRASIL. Resolução ANP N° 07, 2008).....	14
Tabela 2.2. Especificação do diesel (BRASIL. Resolução ANP N° 15, 2006).....	18
Tabela 2.3. Ponto de entupimento de filtro a frio.....	19
Tabela 3.1 Preços médios de comercialização do biodiesel nos leilões (ANP, 2008)	27
Tabela 3.2. Produção dos principais óleos vegetais no Brasil.....	28
Tabela 3.3. Estimativa do potencial em óleo por hectare de algumas oleaginosas.	38
Tabela 3.4. Estimativa do potencial de participação das regiões geográficas no programa de biocombustíveis, considerando-se a produção no ano de 2006 das seguintes oleaginosas: dendê, amendoim, mamona, soja, coco-da-baía, caroço de algodão, girassol e canola.	40
Tabela 5.1. Localização, área cultivada e produção das fazendas de soja amostradas.....	56
Tabela 5.2. Resumo de insumos das fazendas para a produção de 1 tonelada de soja úmida.	57
Tabela 5.3. Insumos/produtos para obtenção de 1 t de soja seca (13% umidade).	57
Tabela 5.4. Resumo dos principais insumos/produtos estimados para a produção do óleo de soja degomado a partir de 1 tonelada de grão de soja.....	63
Tabela 5.5. Resumo dos principais insumos/produtos para a transesterificação do óleo de soja degomado pela rota metílica, para a produção de 1 tonelada do éster metílico de soja.	70
Tabela 5.6. Resumo dos principais insumos/produtos das etapas do cultivo agrícola, esmagamento, extração do óleo e transesterificação para produzir 1 tonelada de ésteres metílicos do óleo de soja.	71
Tabela 5.7. Produção e capacidade de produção de biodiesel por região geográfica.....	72
Tabela 6.1. Consumo de diesel por tipo de caminhão no Canadá.	78
Tabela 6.2. Balanço energético da cadeia de biodiesel.	79
Tabela 6.3. Balanço energético da cadeia de biodiesel considerando a alocação de 18% dos insumos para a obtenção do óleo.....	80
Tabela 6.4. Análise de sensibilidade do balanço energético.....	82
Tabela 6.5. Balanço energético da cadeia de biodiesel considerando 18% dos insumos para a obtenção do óleo e 90% dos insumos da transesterificação para a obtenção do biodiesel.	83
Tabela 6.6. Balanço energético da cadeia de biodiesel considerando alocação econômica de 40% dos insumos para a obtenção do óleo e 97% dos insumos da transesterificação para a obtenção do biodiesel.	84
Tabela 6.7. Comparação do consumo energético com o estudo de Sheehan e colaboradores.....	85
Tabela 7.1. Distribuição territorial e ocupação com lavouras no país.	89
Tabela 7.2. Ocupação de terras pelas principais lavouras temporárias e permanentes do Brasil no ano base de 2006.	89
Tabela 7.3. Características de qualidade do farelo de soja.	99
Tabela 7.6. Evolução do preço FOB do óleo bruto de soja (US\$ / t) no Porto de Paranaguá.	100

Nomenclatura

Abreviaturas:

BX – Diesel com X% em volume de biodiesel

B100 – 100% biodiesel

Siglas:

ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ASTM - American Society for Testing and Materials

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BEN – Balanço Energético Nacional

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagem

GNV – Gás Natural Veicular

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LULUCF – Land use, Land Use Change and Forestry

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio

MME – Ministério das Minas e Energia

NPK – Nitrogênio Fósforo Potássio

NREL – National Renewable Energy Laboratory

OPEC – Organization of the Petroleum Exporting Countries

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

TWA – Time Weighted Average

UE – União Européia

UFOP – Union Zur Förderung Von Oel

USDOE – United State Department of Energy

Introdução

A introdução de biodiesel na matriz energética brasileira deu-se efetivamente através da Lei 11.097/2005 que tornou obrigatória a adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel comercializado no país a partir de 2008 e de 5% a partir de 2013. A introdução do biodiesel no país tem sido incentivada principalmente pela ação governamental, que prevê um desenvolvimento econômico e social para o país, bem como a possibilidade de reduzir a dependência externa do diesel, que é relativamente pequena, utilizando combustíveis de fontes renováveis. O programa possibilita a produção de biodiesel oriundo de várias fontes, como os óleos vegetais de soja, mamona, girassol, palma (dendê), algodão, babaçu, amendoim, canola, e também a partir de gordura animal e óleos residuais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biodiesel de soja usando uma abordagem de ciclo de vida, incluindo a etapa agrícola, a extração do óleo e a transformação do mesmo em éster metílico de soja. Dentro desta perspectiva de cadeia produtiva, foi crucial a determinação do balanço energético que relaciona a energia de todos os insumos consumidos à energia final obtida com o biocombustível.

Com esta justificativa e objetivo, a tese procurou abordar os seguintes aspectos:

O capítulo 1 trata da busca de novas fontes de energia, de origem renovável, em função da necessidade de diminuir a dependência do petróleo devido à diminuição das reservas mundiais, do aumento de preço e do aumento do aquecimento global decorrente da queima de combustíveis fósseis. Neste capítulo, faz-se também uma avaliação geral do uso de biodiesel em outros países.

No capítulo 2, após definição preliminar do biodiesel, fala-se das principais especificações técnicas que o biodiesel e que o diesel devem atender para serem comercializados no país, bem como as características de emissões do biocombustível. Neste capítulo são avaliados os principais

mercados de diesel nos quais o biodiesel se insere e, estima-se a demanda deste último para suprir o B2 (2% de biodiesel no diesel) no mercado.

No capítulo 3 são feitas algumas considerações em relação ao Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - PNPB. Faz-se uma comparação dos preços dos óleos vegetais produzidos no país com os preços de biodiesel praticados nos leilões, com o intuito de se identificar as fontes de óleos vegetais de maior viabilidade econômica. As características agrônomicas de algumas plantas que têm sido indicadas como potenciais fontes de óleo para o PNPB são descritas e comparadas, bem como sua distribuição geográfica no país. O atual volume de produção destas diversas fontes é avaliado para se estimar a participação potencial das diferentes regiões geográficas no fornecimento de matéria-prima para o programa. A importância do rendimento em óleo e a sua correlação com aspectos ambientais são também comentadas. A opção pelo estudo da produção do biodiesel a partir da soja surge desta avaliação geral.

O capítulo 4 descreve os princípios gerais da metodologia de avaliação de ciclo de vida e do balanço energético, bem como faz uma revisão bibliográfica de alguns estudos com este enfoque.

O capítulo 5 descreve todo o levantamento bibliográfico e de campo para a coleta de dados relativos às etapas de plantio da soja, secagem dos grãos, preparação e limpeza, extração do óleo, degomagem e transesterificação do óleo, com a apresentação dos inventários parciais e finais de cada etapa.

No capítulo 6 o balanço energético para a produção de biodiesel de soja é calculado usando diferentes critérios relativos à alocação de insumos.

O capítulo 7 analisa como a cadeia de biodiesel de soja afeta outros setores. Fala-se dos principais impactos ambientais decorrentes do uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, do uso de hexano e da geração de efluentes. O trabalho revela também um aumento na demanda do próprio diesel. Descreve-se também como os co-produtos da cadeia produtiva, o farelo de soja e a glicerina, são absorvidos no país.

No capítulo 8 é feito um balanço geral dos resultados encontrados e a identificação das principais conclusões do trabalho.

Capítulo 1

A necessidade de novas fontes de energia

1.1 A crise do petróleo

A redução da utilização de recursos fósseis tem-se constituído uma meta de vários países nos últimos 30 anos, por várias razões. A primeira delas é o **limite natural** de exploração dos mesmos, já que embora abundantemente utilizados até o momento, estes recursos são finitos. Segundo Campbell (2005), estamos terminando a “**primeira metade dos 150 anos da era do petróleo**”, quando atingiremos o máximo da capacidade produtiva das reservas mundiais existentes (Figura 1.1). O petróleo foi formado numa era geológica passada entre 90 e 150 milhões de anos atrás. Não há como “produzi-lo atualmente”. As reservas podem ser entendidas como um grande tanque que, à medida que se drena, este se esvazia. A energia barata estimulou o crescimento da indústria, do transporte, do comércio e da agricultura. Segundo Campbell, nesta segunda metade da era do petróleo o uso do mesmo irá declinar, assim como o gás que o acompanha. Campbell prevê o término da economia, como atualmente entendida e praticada, e uma retração no crescimento econômico. Cabe lembrar que existe grande número de estimativas das reservas mundiais, além da mostrada por Campbell, uma vez que as mesmas dinâmicas e fortemente dependentes dos investimentos realizados

A redução no uso de recursos fósseis, para os EUA e países da União Européia, entretanto, também é fortemente motivada pelo objetivo de se reduzir a dependência externa de petróleo em relação aos países produtores, em função de vários períodos de instabilidade vivenciados (COM, 2007).

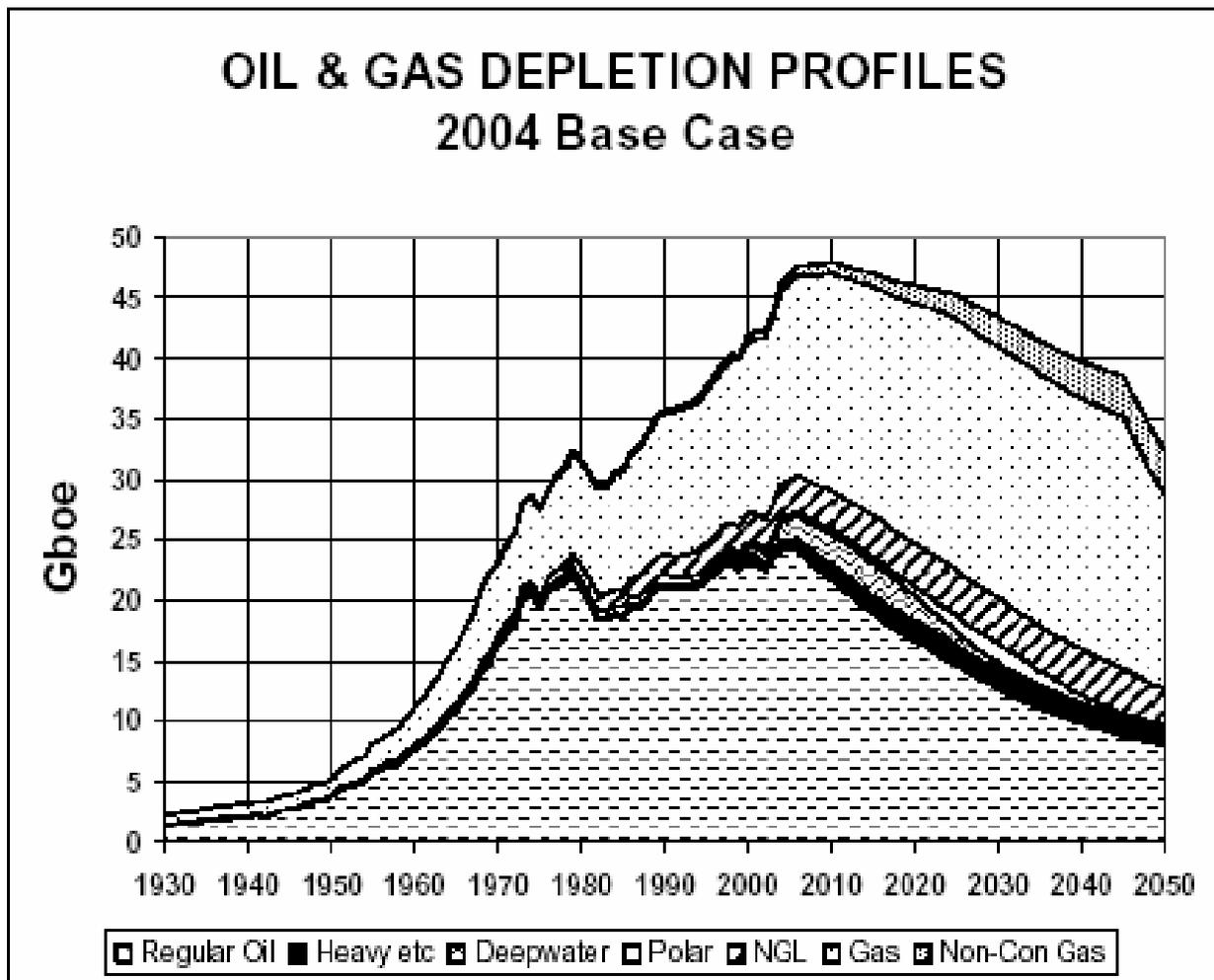


Figura 1.1. Perfil de esgotamento de petróleo e gás.

Fonte: Campbell, 2005.

Paralelamente ao esgotamento das reservas mundiais, tem-se assistido a **alta dos preços do petróleo a nível mundial** (Figura 1.2). Em 2007, o preço do barril aumentou 6,7 vezes em relação à média no período entre 1970 e 1980, sendo que em maio de 2008, o preço do barril chegou a 124,95 U\$/barril (OPEC 2006 e 2008). Os motivos da alta do petróleo são muitos e não serão aqui discutidos, mas decisivamente o declínio das reservas de petróleo tem contribuição significativa para este aumento.

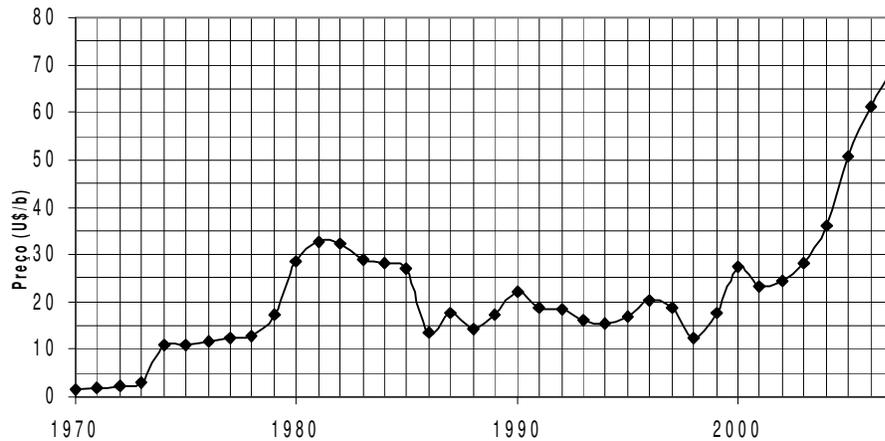


Figura 1.2. Variação do preço do petróleo entre 1970 e 2007.

Fonte: OPEC, 2006 e 2008 (1 barril=159 litros).

1.2 O aquecimento global

Em paralelo a estes dois grandes fatos, **os efeitos do aquecimento global**, decorrente do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, há tantos anos previsto e estudado, têm afetado diretamente a vida de toda a população mundial. Os últimos relatórios publicados pelo IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change têm revelado dados alarmantes decorrentes das mudanças climáticas.

O período compreendido entre 1995 e 2006 caracterizou-se como os 12 anos mais quentes desde o início das medidas instrumentais da superfície global, em 1850. O aumento total de temperatura de 1850-1899 para 2001-2005 foi de 0,76 [0,57 a 0,95]°C (IPCC, 2007a).

Observações desde 1961 mostram que a temperatura média do oceano aumentou em profundidades de ao menos 3000 m e que o oceano tem absorvido mais que 80% do calor adicionado ao sistema. Este aquecimento faz com que a água do mar se expanda, contribuindo para a elevação do nível do mar.

A taxa média de elevação do nível do mar foi de 1,8 [1,3 a 2,3] mm/ano entre 1961 e 2003. A taxa se elevou para 3,1[2,4 a 3,8] mm/ano entre 1993 e 2003. Não se sabe ao certo se este aumento é devido a uma variabilidade entre as décadas ou uma tendência de aumento de longo prazo. Estima-se que o aumento total no século XX seja de 0,17 [0,12 a 0,22]m (IPCC, 2007a).

Tem-se observado numerosas mudanças climáticas em escalas continentais, regionais e nos oceanos. Incluem-se mudanças nas temperaturas dos pólos, nas quantidades de precipitação, salinidade dos oceanos, padrões de vento e extremos climáticos como secas, chuvas intensas, ondas de calor e intensidade de ciclones tropicais.

O gás carbônico é a maior fonte antropogênica causadora do efeito estufa. A concentração atmosférica aumentou de 280 ppm na era pré-industrial para 379 ppm em 2005. A concentração atmosférica do gás carbônico excede bastante a faixa natural encontrada há 650.000 anos atrás (180 a 300 ppm) determinada nos centros das geleiras. A taxa de crescimento anual da concentração de gás carbônico foi maior nos últimos 10 anos (entre 1995 e 2005 foi 1,9 ppm por ano) do que tem sido desde o início das medidas das concentrações atmosféricas (entre 1965 e 2005 foi de 1,4 ppm por ano), embora exista uma variabilidade ano a ano nas taxas de crescimento (IPCC, 2007a).

O aumento da concentração de dióxido de carbono a partir da era pré-industrial resulta principalmente do **uso de combustível fóssil**, sendo que a mudança no uso de terra também é significativa, mas tem menor contribuição. As emissões anuais fósseis aumentaram de uma média de 6,4 GtC por volta dos anos 1990, para 7,2 GtC por ano entre 2000 e 2005. Emissões de gás carbônico associadas à mudança no uso de terra são estimadas em 1,6 GtC por ano depois de 1990, embora estas estimativas tenham uma grande incerteza (IPCC, 2007a).

Outros importantes fatores antropogênicos causadores do aquecimento global devem-se ao aumento da concentração de metano (CH_4) e de óxido nitroso (N_2O).

A concentração de metano de 715 ppb da era pré-industrial aumentou para 1732 ppb até início dos anos 1990, e para 1774 ppb em 2005. A concentração atmosférica de metano em 2005 excede largamente a faixa natural dos últimos 650.000 anos (320 a 790 ppb, valores determinados nos centros das geleiras). As taxas de crescimento têm diminuído desde o início dos anos 1990, consistentes com as emissões totais (soma das fontes antropogênicas e naturais) sendo quase constantes durante este período. É muito provável que o aumento observado seja devido às atividades antropogênicas, principalmente agricultura e o uso de energia fóssil, mas as contribuições relativas entre estas duas fontes não são bem determinadas (IPCC, 2007a).

A concentração atmosférica global de óxido nitroso aumentou da era pré-industrial de 270 ppb para 319 ppb em 2005. A taxa de crescimento tem sido aproximadamente constante desde 1980. Mais que um terço das emissões de óxido nitroso são devido à agricultura (IPCC, 2007a).

Segundo o relatório “*Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*”, do grupo de trabalho II do IPCC, observações em todos os continentes mostram que os sistemas naturais estão sendo afetados por mudanças regionais climáticas, particularmente, o aumento da temperatura. Existem altas evidências destas mudanças devido:

- ao alargamento e aumento do número de lagos glaciais,
- aumento da instabilidade de terras permanentemente congeladas e avalanches de rochas em regiões montanhosas,
- mudanças nos ecossistemas nas regiões dos pólos norte e sul, incluindo os biomas mar-gelo e os altos predadores da cadeia alimentar.

Há evidências crescentes de que sistemas hidrológicos foram afetados em todo o mundo:

- aumento da descarga e pico de descarga precoce de rios alimentados por gelo e neve,
- aquecimento de lagos e rios em muitas regiões, o que afeta a estrutura térmica e qualidade das águas.

Há forte evidência que o aquecimento recente está afetando sistemas biológicos, como eventos de “primavera precoce” com caimento das folhas, migração de pássaros e postura de ovos (IPCC, 2007b).

Entre 1970 e 2004, as emissões de CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs e SF₆, ponderadas pelo seu potencial de aquecimento global (GWP) aumentaram em 70% (24% entre 1990 e 2004) de 28,7 para 49 GtCO₂ - eq. As emissões destes gases aumentaram em diferentes taxas. As emissões de CO₂ aumentaram em 80% entre 1970 e 2004 e representaram 77% das emissões antropogênicas de efeito estufa em 2004 (IPCC, 2007c).

O maior aumento nas emissões de gases de efeito estufa entre 1970 e 2004 advém do fornecimento de energia (um aumento de 145%). O crescimento nas emissões diretas neste período, originárias do transporte foram 120%, da indústria 65% e do uso de terra, mudança no uso de terra e reflorestamento (LULUCF - Land Use, Land-Use Change and Forestry), 40%. Entre 1970 e 2004 as emissões diretas devido à agricultura cresceram 27% e devido à edificações 26%, sendo que esta última permanece no mesmo nível desde 1990 (IPCC, 2007c).

1.3 A mitigação do efeito estufa

Há várias opções de mitigação do efeito estufa no setor de transportes, mas seu efeito pode ser contrabalanceado pelo crescimento do setor.

A melhoria da eficiência dos veículos, que reduz o consumo de combustíveis, em muitos casos pode ter benefícios líquidos, mas seu potencial de mercado é menor que o potencial econômico, devido a preferências do consumidor em relação a desempenho e tamanho dos veículos.

Biocombustíveis podem desempenhar importante papel de mitigação dos gases de efeito estufa, dependendo da sua forma de produção. Projeções indicam uma contribuição de 3% dos biocombustíveis usados em substituição à gasolina e aditivos ou substitutos do diesel, na demanda de energia total para transporte, em 2030. Esta contribuição pode atingir entre 5 e 10%, dependendo do futuro do petróleo e dos preços do carbono, de melhorias na eficiência de veículos e do sucesso das tecnologias que usam a celulose como insumo à produção de biocombustíveis (IPCC, 2007c).

1.4 O uso de biodiesel em outros países

1.4.1 O uso de biocombustíveis na União Européia

Os biocombustíveis atualmente mais comuns são o biodiesel (feito a partir de óleos vegetais) e o bioetanol (obtido a partir de culturas fornecedoras de açúcar e amido). Há pesquisas em andamento para viabilizar a “segunda geração” de biocombustíveis obtidos a partir de madeira, gramas e alguns tipos de resíduos. Entretanto, pode-se dizer que o etanol do Brasil, produzido a partir da cana-de-açúcar, com produtividade atual próxima a 90 t/ha (MACEDO et al, 2008) pode ser considerado como um combustível de segunda geração.

Os biocombustíveis têm um papel importante na política energética européia: são os únicos substitutos para o petróleo no transporte disponíveis em escala significativa. Embora outras tecnologias, como o hidrogênio, tenham enorme potencial, elas estão longe de uma viabilidade em larga escala e exigem mudanças significativas na frota de veículos e no sistema de distribuição de combustível. Biodiesel pode ser usado nos dias atuais, em motores comuns, para

misturas de baixo conteúdo, ou modificações relativamente baratas, para aceitar altos percentuais do mesmo no diesel.

A mudança na matriz de combustíveis é importante para o sistema de transporte da União Européia - UE, que é quase inteiramente dependente do petróleo. O petróleo é a fonte energética que representa a mais angustiante segurança de fornecimento para a Europa.

A segunda grande vantagem dos biocombustíveis é a redução potencial do efeito estufa. Embora não seja a forma mais barata de reduzir estas emissões, são uma das poucas medidas – além da melhoria na eficiência dos veículos – que oferecem reduções em larga escala na emissão dos gases de efeito estufa. Entretanto, a produção dos biocombustíveis deve ser realizada de forma que ocorra ganho líquido na emissão destes gases e que não cause significativo impacto ambiental (COM, 2007).

Na Europa, alguns poucos países demonstraram interesse em biocombustíveis na década de 90. A UE teve ações efetivas a partir de 2001, através da Diretiva de Biocombustíveis e do artigo 16 sobre a taxação de energia. Na diretiva, objetivava-se que os biocombustíveis representassem 2% do mercado de gasolina e diesel para transporte em 2005 e 5,75% em 2010. A reforma da política agrícola em 2003 permitiu aos agricultores obter as vantagens do novo mercado associado aos biocombustíveis. Enquanto os fazendeiros não podem cultivar produtos alimentícios nas terras retiradas da produção (*‘set-aside’*, para evitar excesso de oferta), eles podem usar esta terra para cultivos não alimentares, incluindo os biocombustíveis. Outro aspecto é o sistema de *“cross-compliance”*, que torna o pagamento aos fazendeiros condicional ao respeito à legislação ambiental e à manutenção da terra agrícola em boas condições ambientais. Em 2005, entretanto, a participação dos 21 estados membros somou uma participação de 1% dos biocombustíveis na matriz energética de transporte. Apenas a Alemanha (3,8%) e a Suécia (2,2%) alcançaram o valor de referência. O biodiesel alcançou a participação de 1,6% do mercado de diesel e o etanol alcançou 0,4% do mercado de gasolina. Embora 19 dos estados membros tenham se comprometido com objetivos até 5,75%, em 2010, estudos indicam que esta participação possa chegar entre 2,4 a 4,2 % em 2010.

A política de biocombustíveis dos dois países que atingiram suas metas, a Alemanha através do biodiesel e a Suécia através do etanol, têm características comuns: têm vários anos de experiência no campo, usam misturas de alto conteúdo ou biocombustíveis puros (dando visibilidade à política) e misturas com baixos teores compatíveis com o sistema de distribuição e

motores existentes. Ambos têm isenção de taxas para biocombustíveis. Ambos combinaram a produção doméstica com importação. Ambos têm investimentos em P&D e têm tratado a primeira geração de biocombustíveis como uma ponte para a segunda geração (COM, 2007).

O uso de biodiesel na Alemanha

Os principais fatores de motivação política na Alemanha para promover o uso dos biocombustíveis são a proteção do clima, a segurança do suprimento de combustível e o desenvolvimento de áreas rurais.

Biodiesel é o mais importante biocombustível na Alemanha. Produzido intensivamente desde 1995, o biodiesel obtido a partir de sementes de colza (*rapeseed*) tem hoje um mercado tecnicamente desenvolvido. A indústria de veículos e os fabricantes de biodiesel desenvolveram os pré-requisitos técnicos e normativos para o estabelecimento da indústria.

O biodiesel na Alemanha está disponível em mais de 1400 estações de combustível. A produção prevista de biodiesel para 2007 era de 4,5 milhões de toneladas, mas analistas econômicos acreditam que a redução das taxas de subsídios iria afetar substancialmente a produção do mesmo (UFOP, 2006).

1.4.2 O uso de biodiesel nos Estados Unidos

Os americanos são os maiores consumidores de petróleo do mundo, consumindo mais de 7,6 bilhões de barris por ano, dos quais 60% são importados. O setor de transporte é 97% dependente do petróleo, consumindo mais que 2/3 do total. Esta grande dependência de petróleo deixa a economia do país vulnerável ao aumento de preços. Em 2003, o preço do barril era de US\$ 30 e em 2008 o preço ultrapassou o patamar de US\$ 100. É provável que aumentos e flutuações continuem a ocorrer devido ao crescimento da demanda mundial, paradas de refinarias e instabilidade política nas nações e regiões ricas em petróleo. Além dos custos econômicos, o setor de transportes tem sérias repercussões ambientais. O setor de transporte dos EUA emite mais de 1/3 das emissões de gases que contribuem para o efeito estufa. Por estas razões, o governo americano tem se esforçado para desenvolver combustíveis e veículos com melhor desempenho ambiental - “*greener fuels and vehicles*”, incentivando o uso de combustíveis

alternativos, desenvolvendo o estado da arte das tecnologias de produção de combustíveis, da infra-estrutura de transporte, e utilizando avançada tecnologia de veículos.

Em 2006, a venda de veículos mais limpos (*cleaner*) dobrou em relação à 2005, mas ainda representam apenas 2% do mercado total. O governo dos EUA projetou um aumento de 3 vezes no uso de combustíveis alternativos, nos quais incluem o gás natural comprimido (GNV), o gás liquefeito do petróleo (GLP ou propano), etanol e biodiesel até 2030. Os seguintes produtos estarão disponíveis no mercado num futuro próximo: hidrogênio, veículos híbridos tipo *plug-in*, avançados veículos diesel, *coal-to-liquids* (combustíveis líquidos derivados de carvão), biobutanol e E-diesel (etanol / diesel) (NATIONALS GOVERNORS ASSOCIATION, 2008).

O biodiesel usado nos EUA é em sua maior parte produzido a partir de soja (90%), e de outras culturas como canola, algodão, amendoim e de resíduos gordurosos. É produzido através do processo de transesterificação e deve ser produzido sob especificações industriais restritas para adequado desempenho. Segundo a National Governors Association, o biodiesel é o único combustível alternativo que preenche totalmente o *Clean Air Act Amendment* de 1990. Em 2005, foram produzidos 75 milhões de galões, ou seja, 330 milhões de litros. O governo fornece subsídios de US\$ 1,00 / galão para o biodiesel produzido a partir da soja e de US\$ 0,50 / galão obtido a partir de gordura animal. As misturas variam entre B1 e B20. O biodiesel é distribuído do seu ponto de produção por caminhão, trem ou embarcações para as estações de distribuição de combustíveis. Os distribuidores de biodiesel distribuem-no puro ou misturado, dependendo das preferências do consumidor. A maioria dos motores a diesel aceita misturas de baixo conteúdo, até 20%, com pequena ou nenhuma adaptação de motor. Entretanto, misturas acima de B20 requerem cuidados adicionais, manuseio, procedimentos de manutenção e também algumas modificações nos motores. Por isso, é limitado o uso de misturas com conteúdo superior a 20% em biodiesel (NATIONALS GOVERNORS ASSOCIATION, 2008).

Capítulo 2

A introdução do biodiesel como substituto do diesel

2.1 A definição de biodiesel

Etanol, bagaço-de-cana, lixívia (licor negro), lenha e biodiesel estão entre os principais biocombustíveis atualmente produzidos no Brasil. Como esta tese trata de biodiesel, torna-se importante iniciar este capítulo com algumas definições consideradas relevantes.

“Biocombustível: combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil“ (ANP, 2008).

“Biodiesel: composto de alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais com especificação estabelecida pela Resolução ANP Nº 7, de 19 de março de 2008.” (ANP, 2008).

No Brasil e no mundo, a maior parte do biodiesel tem sido produzida a partir da transesterificação de óleos e gorduras com metanol ou etanol, sendo que o Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel - PNPB prevê que o mesmo possa ser obtido por diversas fontes oleaginosas, como os óleos vegetais de soja, mamona, girassol, palma (dendê), algodão, babaçu, amendoim, canola e também gordura animal e óleos residuais.

2.2 O uso obrigatório de biodiesel

Visando incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional, o Presidente da República, através da Lei No 11.097, de 13 de janeiro de 2005, publicada no Diário Oficial da União em 14.1.2005, tornou obrigatória a adição de biodiesel ao óleo diesel, sendo fixado em 5% em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. O prazo para a introdução do percentual mínimo de 2% iniciou-se em 2008, após 3 anos da publicação desta Lei, e é de 8 anos para a adição dos 5%, ou seja, a partir de 2013 (BRASIL. Lei 11.097, 2005).

2.3 Características técnicas do biodiesel

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis publicou em 19 de março de 2008, a Resolução ANP 07/2008 na qual estabelece as especificações que o biodiesel deve apresentar para a sua comercialização no país, mostrada na Tabela 2.1 de forma a garantir a qualidade do biodiesel (BRASIL. Resolução ANP Nº 07, 2008).

As especificações mostradas na Tabela 2.1 devem ser seguidas e comprovadas pelo certificado de qualidade, de validade de um mês, realizado em laboratório do próprio produtor ou contratado cadastrado pela ANP. Para cada lote de comercialização deverá ser guardada uma amostra testemunha pelo prazo mínimo de dois meses (ANP, 2008).

Dentre as especificações técnicas, algumas são particularmente importantes, como descritas a seguir:

Número de cetano: O número de cetano mede a qualidade de ignição de um combustível e tem influência na partida do motor e no seu funcionamento. Quanto menor o número de cetano maior será o retardo da ignição. Em geral o biodiesel tem número de cetano maior que o diesel.

Tabela 2.1. Especificação do biodiesel (BRASIL. Resolução ANP N° 07, 2008)

Característica	Unidade	Limite	Método		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m ³	850-900	7148	1298	EN ISO 3675
			14065	4052	EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0-6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de Água, máx. (2)	mg/kg	500	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15342 (4) (5)	-	EN 14103
Resíduo de carbono (6)	% massa	0,050	-	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
			-	-	EN ISO 20846
Enxofre total, máx.	mg/kg	50	-	5453	EN ISO 20884
			-	-	EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 / 15555	-	EN 14108 / 14109
			15553 / 15556	-	EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 / 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre 3h a 50°C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano (7)	-	Anotar	-	613 / 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19 (9)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448	664	-
			-	-	EN 14104 (10)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341 (5)	6584 (10)	-
			-	-	EN 14105 (10)
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	-	-	EN 14106 (10)
			15344 (5)	6584 (10)	-
Mono, di, triacilglicerol (7)	% massa	Anotar	-	-	EN 14105 (10)
			15342 (5)	6584 (10)	-
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110
Índice de Iodo (7)	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.(2)	h	6	-	-	EN 14112 (10)

Nota:

- (1) LII – Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.
- (2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.
- (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
- (4) O método ABNT NBR 15342 poderá ser utilizado para amostra oriunda de gordura animal.
- (5) Para biodiesel oriundo de duas ou mais matérias-primas distintas das quais uma consiste de óleo de mamona:
 - a) teor de ésteres, mono-, diacilgliceróis: método ABNT NBR 15342;
 - b) glicerol livre: método ABNT NBR 15341;
 - c) glicerol total, triacilgliceróis: método ABNT NBR 15344;
 - d) metanol e/ou etanol: método ABNT NBR 15343.
- (6) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
- (7) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas.
- (8) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.
- (9) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.
- (10) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.

Ponto de fulgor: A temperatura mínima de 100°C que assegura que o metanol de processo foi completamente removido, tanto por questões de saúde quanto pela natureza corrosiva do metanol.

Teor de água: Um máximo de 500 mg/kg é permitido, pois a água permite desenvolvimento de microorganismos e acelera os processos de corrosão.

Viscosidade: A viscosidade deve situar-se na faixa especificada de 3,0 a 6,0 mm²/s, pois baixas viscosidades podem levar a vazamentos pelos anéis e elevadas viscosidades causam altas pressões de injeção, forçando o uso e reduzindo o tempo de vida útil dos motores.

Resíduo de carbono: Este parâmetro mede a tendência do combustível em formar depósitos de carbono na câmara de combustão, sendo permitido um máximo de 0,05% em massa.

Índice de acidez: Este índice deve ser no máximo 0,5 mg KOH/g, pois a acidez é decorrente da presença de ácidos graxos livres e produtos de oxidação, que são corrosivos (McCORMIK, 2005).

O biodiesel tem propriedades lubrificantes superiores e pode reduzir o desgaste dos motores a diesel. Testes de bancada têm mostrado que aproximadamente 1% de biodiesel pode aumentar a lubricidade do combustível em mais de 65%. A lubricidade do biodiesel tende a se tornar importante em função das atuais regulamentações no Brasil e no mundo, que exigem redução nos

teores atuais de enxofre. O diesel com baixíssimo teor de enxofre tem suas propriedades lubrificantes reduzidas. Baixo teor de biodiesel usado como agente lubrificante pode auxiliar nesta questão (USDOE, 2005).

O biodiesel tem também um número de cetano superior ao diesel comum. Combustíveis com maior número de cetano têm períodos de ignição mais curtos que combustíveis com baixo número de cetano. Combustíveis com número de cetano abaixo da exigência mínima dos motores podem causar uma operação ineficiente, tornando a partida mais difícil, especialmente na época do frio ou em elevadas altitudes. Baixo número de cetano pode aumentar os depósitos nos motores, resultando em mais fumaça, maior emissão nos gases de exaustão e maior desgaste dos motores (USDOE, 2005).

Com a adequada manutenção do tanque de combustível, as misturas de biodiesel tipo B20, ou inferiores, podem ser usadas em qualquer motor diesel, inclusive aqueles com avançados sistemas de injeção, sem reduzir a sua segurança ou durabilidade. Nos Estados Unidos, usuários de biodiesel afirmam que os requisitos de manutenção com o uso de misturas B20 ou inferiores são praticamente idênticos aos exigidos pelo diesel comum (USDOE, 2005).

Pesquisas realizadas pela EPA - Environmental Protection Agency, nos EUA, mostram que o biodiesel reduz a maioria das emissões reguladas de motores a diesel não modificados. As emissões que são reduzidas dependem do nível de mistura. Para o biodiesel puro, B100, produzido a partir do óleo de soja as emissões de CO₂ no ciclo de vida são reduzidas em 78% em relação ao diesel fóssil. Este efeito é linear com o nível de mistura, e o B5 reduz as emissões de CO₂ em 3,8%. Baixos níveis de mistura causam pequenas reduções nas emissões de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, material particulado e emissões atmosféricas tóxicas. Emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), os quais contribuem para a formação de fumaça fotoquímica, podem aumentar ligeiramente quando o biodiesel é usado. Os números variam, e acredita-se que com o B20 aumente-se entre 2 a 4% as emissões de NO_x. Há vários pesquisadores que vêm trabalhando com aditivos para reduzir este problema. Para misturas até 5%, o aumento nas emissões de NO_x são pouco significativas (USDOE, 2005).

2.4 Características técnicas do diesel

O diesel consiste de uma fração do petróleo composta principalmente por hidrocarbonetos alifáticos. O óleo diesel é ligeiramente mais denso do que o querosene e destila na faixa entre 250

e 400°C. É usado como combustível em motores de combustão interna, nos quais a ignição ocorre pelo aumento de temperatura ao invés de faíscação. Suas características específicas dependem de sua classificação, podendo ser dos tipos interior, metropolitano e marítimo (ANP, 2008).

Devido à introdução do biodiesel, a especificação do diesel também teve que ser alterada, como mostrado na Tabela 2.2 e 2.3, pela Resolução No 15/2006 (BRASIL. Resolução ANP N° 15, 2006).

Tabela 2.2. Especificação do diesel (BRASIL. Resolução ANP N° 15, 2006).

Característica (1)	Unidade	Limite		Método	
		Tipo		ABNT	ASTM
		Metropolitano	Interior		
APARÊNCIA					
Aspecto		Límpido isento de impurezas		Visual (2)	
Cor		-	Vermelho	Visual (2)	
Cor ASTM, máx.		3,0	3,0 (3)	NBR 14483	D 1500
COMPOSIÇÃO					
Teor de Biodiesel,	% vol.	(4)	(4)	Espectrometria de Infra-vermelho	
Enxofre Total, máx.	Mg/kg	500	2.000	NBR14875/ 14533	D 1552 / 2622 D 4294 / 5453
VOLATILIDADE					
Destilação	°C			NBR 9619	D 86
10% vol., recuperados		Anotar			
50% vol., recuperados, máx.		245,0 a 310,0			
85% vol., recuperados, máx.		360,0	370,0		
90% vol., recuperados		Anotar			
Massa específica a 20°C	kg/m ³	820 a 865	820 a 880	NBR 7148 / 14065	D 1298 / D 4052
Ponto de fulgor, min.	°C	38,0		NBR 7974 / 14598	D 56 / 93 / 3828
FLUIDEZ					
Viscosidade a 40°C, máx.	(mm ² /s)	2,0 a 5,0		NBR 10441	D 445
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C	(5)		NBR 14747	D 6371
COMBUSTÃO					
Número de Cetano, mín. (6)	-	42		-	D 613
Resíduo de carbono (máx) Ramsbottom no resíduo dos 10% finais da destilação	% massa	0,25		NBR 14318	D 524
Cinzas, máx.	% massa	0,010		NBR 9842	D 482
CORROSÃO					
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.	-	1		NBR 14359	D 130
CONTAMINANTES					
Água e Sedimentos, máx.	% volume	0,05		NBR 14647	D 1796
LUBRICIDADE					
Lubricidade, máx. (7)	mícron	460	-		D 6079

Nota:

(1) Poderão ser incluídas nesta especificação outras características, com seus respectivos limites, para óleo diesel obtido de processo distinto de refino e processamento de gás natural ou a partir de matéria-prima que não o petróleo.

(2) A visualização será realizada em proveta de vidro de 1L.

(3) Limite requerido antes da adição do corante. O corante vermelho, segundo especificação constante da Tabela III deste Regulamento Técnico, deverá ser adicionado no teor de 20mg/L pelas Refinarias, Centrais de Matérias Primas Petroquímicas e Importadores.

(4) Adição obrigatória de biodiesel em percentual determinado pela legislação vigente.

(Nota)

(5) Limites conforme Tabela 2.3.

(6) Alternativamente ao ensaio de Número de Cetano fica permitida a determinação do Índice de Cetano calculado pelo método NBR 14759 (ASTM D 4737), cuja especificação fica estabelecida no valor mínimo de 45. Em caso de desacordo de resultados prevalecerá o valor do Número de Cetano.

(7) Até 01.04.2007, data em que deverão estar sanadas as atuais limitações laboratoriais dos Produtores, apenas os óleos diesel que apresentarem teores de enxofre inferiores a 250mg/kg necessitarão ter suas lubrificidades determinadas, e informadas à ANP, sem, contudo, comprometer a comercialização dos produtos.

Tabela 2.3. Ponto de entupimento de filtro a frio.

UF	LIMITE MÁXIMO, °C											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
SP MG MS	12	12	12	7	3	3	3	3	7	9	9	12
GO DF ES RJ	12	12	12	10	5	5	5	8	8	10	12	12
PR SC RS	10	10	7	7	0	0	0	0	0	7	7	10

O ponto de entupimento a frio representa a maior temperatura em que o combustível, quando resfriado não flui através de um filtro padronizado, ou leva mais de 60 segundos para passar através desse filtro. O valor limite depende da época do ano e das regiões onde o diesel é vendido.

A Petrobrás comercializa dois tipos de óleo diesel: o automotivo e o marítimo. O diesel automotivo pode ser do Tipo “D” ou “B”, com teores máximos de 0,2 e 0,35% de enxofre, respectivamente. O Tipo “D” é conhecido como “diesel metropolitano”, e é utilizado em regiões com grandes frotas em circulação, nas quais é mais difícil a dispersão dos gases resultantes da combustão do mesmo. Para as demais regiões do país é utilizado o óleo diesel Tipo "B". Na linha automotiva, há ainda o chamado Diesel Extra Aditivado, que é um óleo diesel que contém aditivos que proporcionam uma maior limpeza do sistema de injeção de combustível, reduzindo o desgaste dos bicos injetores, a formação de sedimentos e depósitos, proporcionando melhor

separação da água eventualmente presente no diesel e conferindo maior proteção anticorrosiva ao sistema de alimentação. O Óleo Diesel de Referência é produzido especificamente para as companhias montadoras de veículos a diesel, que o utilizam para a homologação de motores nos ensaios de consumo, desempenho e de emissões. Já para o setor marítimo, existem basicamente dois tipos de diesel: o comercial (com ponto de fulgor mínimo de 60°C) e o especial para Marinha/Ártico com características específicas para alta eficiência em baixas temperaturas (PETROBRAS, 2006).

2.5 Avaliação da demanda de biodiesel como substituto do diesel

2.5.1. O mercado de diesel no Brasil

Até aproximadamente 1990, considerando um período retroativo de duas décadas, o consumo e a produção de diesel eram da mesma ordem de grandeza. De 1990 até 2002, o país consumia aproximadamente 5 milhões m³/ano acima da sua produção, déficit suprido basicamente através da importação.

Em 2006, o consumo do óleo diesel foi de 40,60 milhões de m³. Deste consumo, 38,73 milhões de m³ foram produzidos no país, tendo sido necessário o país importar 3,54 milhões de m³. Descontando a pequena parcela exportada de 1,67 milhão de m³, o país teve um déficit de óleo diesel da ordem de 1,88 milhão de m³. Entre 1996 e 2006, este déficit variou entre 4 e 16% do volume total consumido, com uma média de 11% (Figura 2.1).

O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna de ignição por compressão (motores do ciclo diesel), empregados nas mais diversas aplicações, tais como: automóveis, furgões, ônibus, caminhões, pequenas embarcações marítimas, máquinas de grande porte, locomotivas, navios e aplicações estacionárias (em geração elétrica, por exemplo).

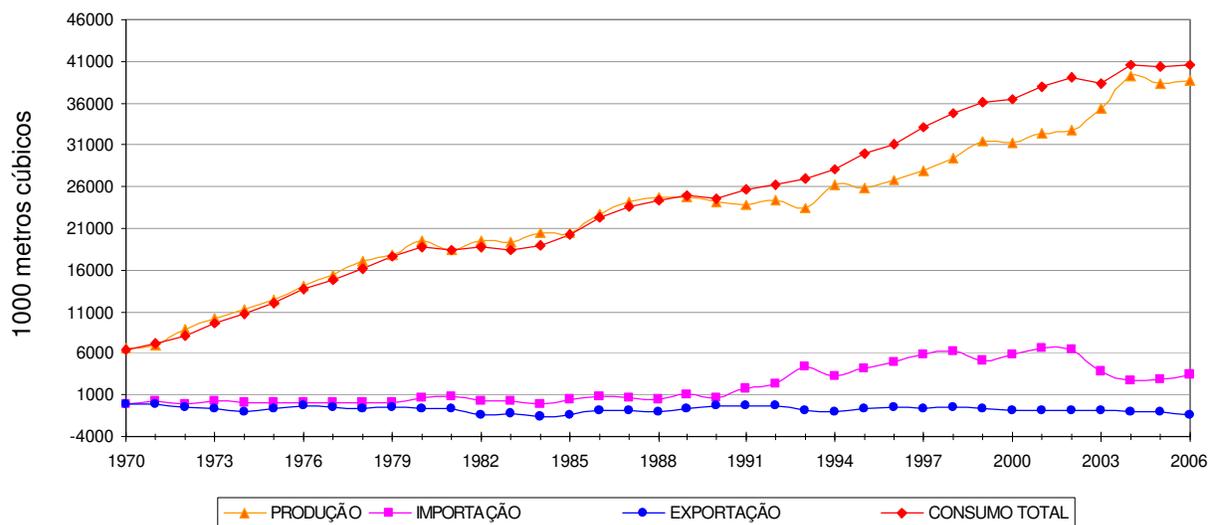


Figura 2.1. Evolução da oferta e demanda de diesel entre 1970 e 2006.

(BEN 2007, Ano base de 2006).

2.5.2. Principais setores consumidores de diesel

Quando se avaliam os setores que utilizam o diesel (Figura 2.2), observa-se que o setor de transportes é sem dúvida o maior consumidor, com participação superior a 80%, seguido pelo setor agropecuário, com participação entre 15 e 16%, desde 1990 até os dias atuais. Os outros setores, formados pelo setor energético, comercial, público e industrial juntos, consumiram 3% no mesmo período.

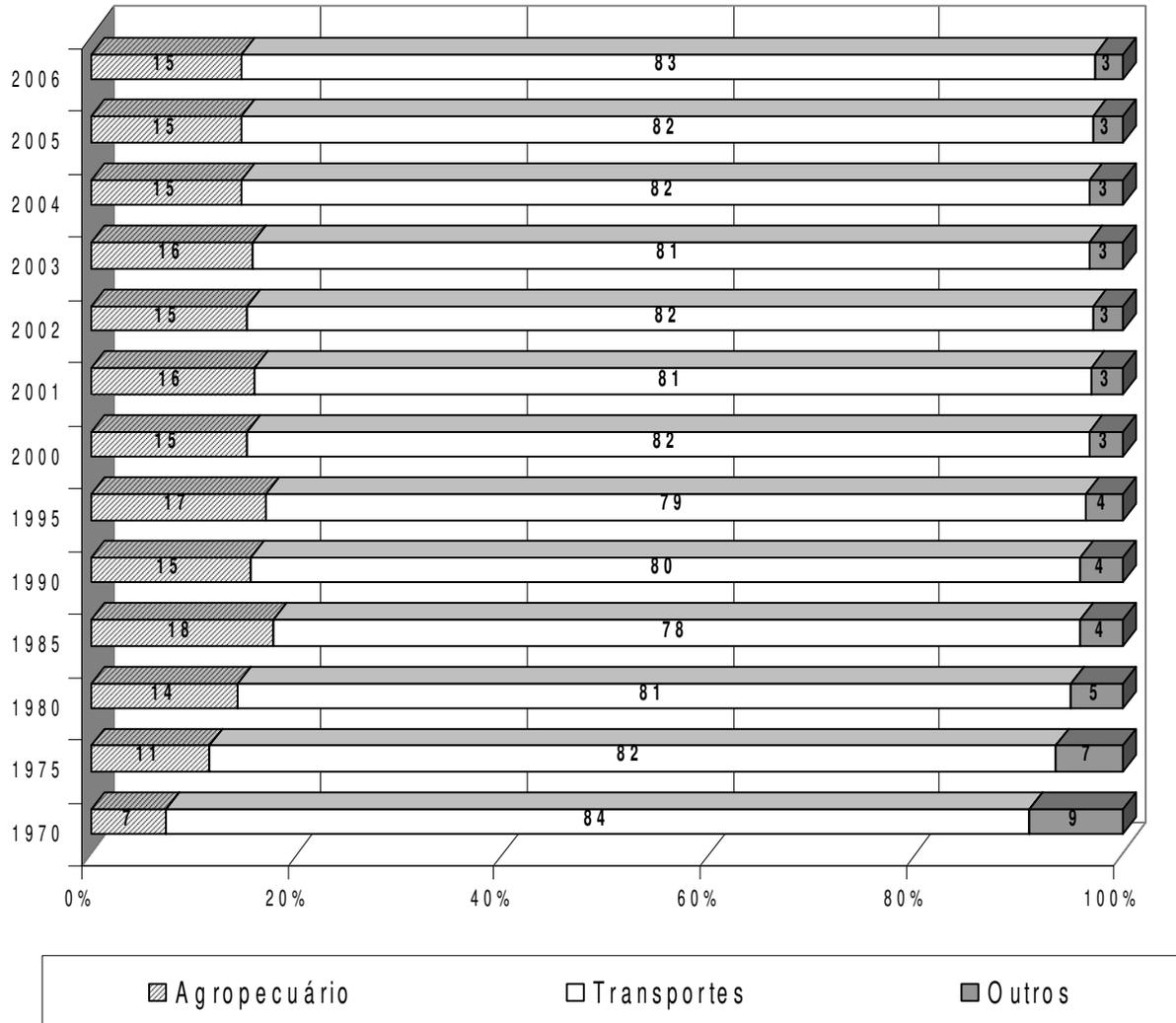


Figura 2.2. Uso do diesel por setor.

(Fonte: BEN 2007, Ano base de 2006).

No setor de transportes, o diesel é mais utilizado no transporte rodoviário (97%), seguido pelo transporte ferroviário (2%) e hidroviário (1%), como mostrado na Figura 2.3, para o ano base de 2006.

O transporte através de caminhões e ônibus a diesel é o principal mercado do diesel, consistindo assim, potenciais usuários das misturas previstas de biocombustível e diesel.

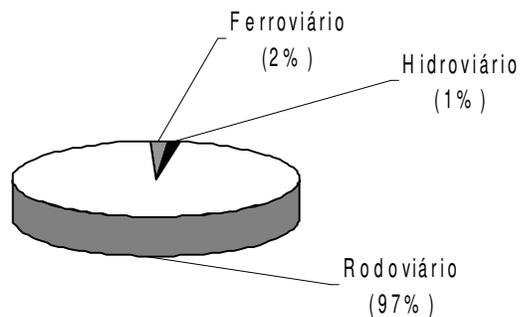


Figura 2.3. Distribuição do consumo de diesel no setor de transportes.

(Fonte: BEN 2007, Ano base de 2006).

No setor agropecuário, o segundo maior setor consumidor de diesel (15-16% desde ao ano de 2000), o combustível é principalmente usado nos tratores e equipamentos agrícolas.

Dentro do setor industrial, o terceiro maior usuário de diesel (2,0% em 2006), destacam-se as áreas de mineração e pelotização, química e alimentos e bebidas, como mostrado na Figura 2.4, que mostra a evolução do consumo de diesel no setor a partir de 1970.

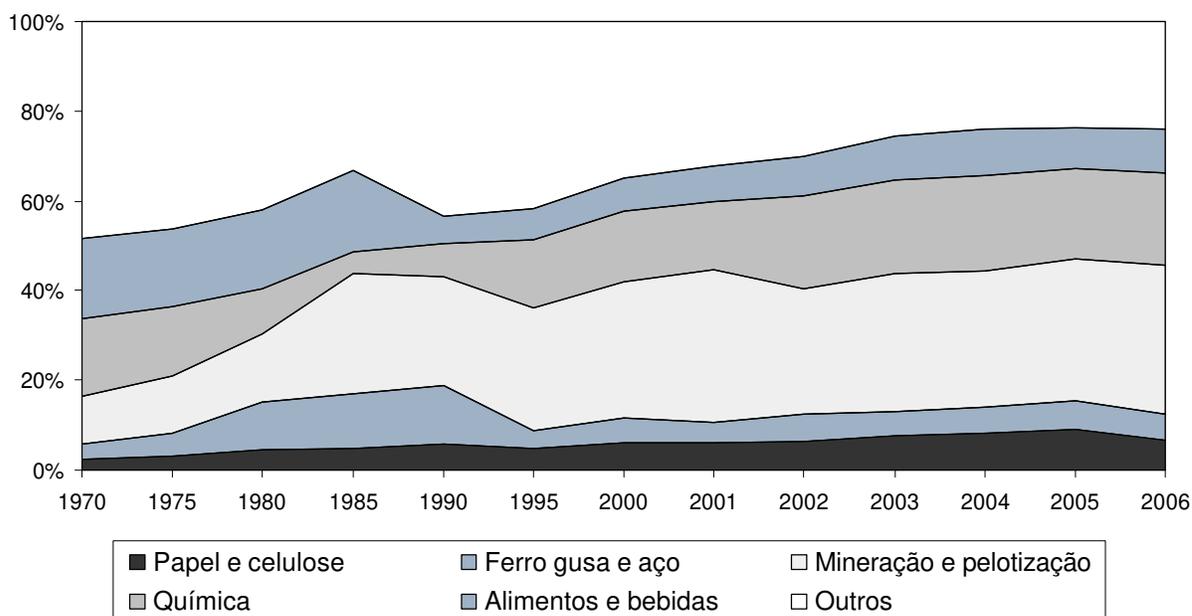


Figura 2.4. Evolução do consumo de diesel no setor industrial.

2.5.3. Estimativa da demanda de biodiesel

A introdução do biodiesel possibilitará progressivamente diminuir a dependência externa do diesel. A adição de **2%** de óleo vegetal tendo como referência o consumo em 2006, demandará um volume de **812 milhões de litros** deste combustível.

Como a Lei 11.097/2005 estabelece a obrigatoriedade de adição de **5%** de biodiesel a partir de 2013, o volume necessário de biodiesel será de **2.030 milhões de litros**, considerando-se o consumo de diesel para o ano base de 2006.

Entra em vigor, a partir de 1º de julho de 2008, uma medida do governo federal que altera o percentual de biodiesel ao diesel de 2% para **3%** , o que gerará uma demanda de **1.200 milhões de litros** (ANP, 2008).

Capítulo 3

Algumas considerações sobre o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

3.1 Considerações econômicas relativas a algumas culturas de plantas oleaginosas

Um dos pilares do atual Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) é a inclusão social e o desenvolvimento regional com geração de emprego e renda.

A viabilidade econômica de obtenção do biocombustível é crucial para a sustentação do programa ao longo dos anos. Assim, a priorização das culturas economicamente mais viáveis deve fazer parte dos programas de incentivo governamental para que o programa possa se sustentar ao longo dos anos, bem como recompensar adequadamente os agricultores que optarem por estas culturas.

Segundo o Professor Horta Nogueira, *“É difícil justificar a queima de produtos que, se vendidos como tal, são mais valiosos que o combustível que se pretende substituir. Se o objetivo central for gerar empregos rurais, criar uma atividade produtora para pequenas propriedades, aí então, com mais razão, cabe produzir e vender o óleo vegetal como tal, para fins alimentícios ou industriais, porque usá-lo em motores seria desvalorizar um produto nobre e de preço remunerador. Antes de se lançar programa de uso massivo de biodiesel é inescapável discutir a quem, com o quê e como pagar esses diferenciais”* (NOGUEIRA, 2004a).

3.1.1 Preço médio de algumas oleaginosas

Utilizando-se dados do IBGE sobre quantidade produzida e valor da produção de oleaginosas como dendê, amendoim, mamona e soja, entre 1996 e 2006 no Brasil, calculou-se o preço médio efetivamente pago ao agricultor por tonelada destes produtos, como mostrado na

Figura 3.1. Pode-se observar que a partir do ano 2001, iniciou-se uma alta geral nos preços de todos os grãos, de forma semelhante a alta observada nos preços do petróleo mostrados na Figura 1.2. Os preços do amendoim, da soja e da mamona, principalmente, sofreram grande oscilação ano a ano, sendo seus valores influenciados pela sazonalidade característica de produtos agrícolas, isto é, suas produtividades estão altamente relacionadas aos fatores climáticos e sujeitos as variações bruscas em função de pragas e doenças regionais, além de serem influenciados pelo mercado externo que importa estes produtos.

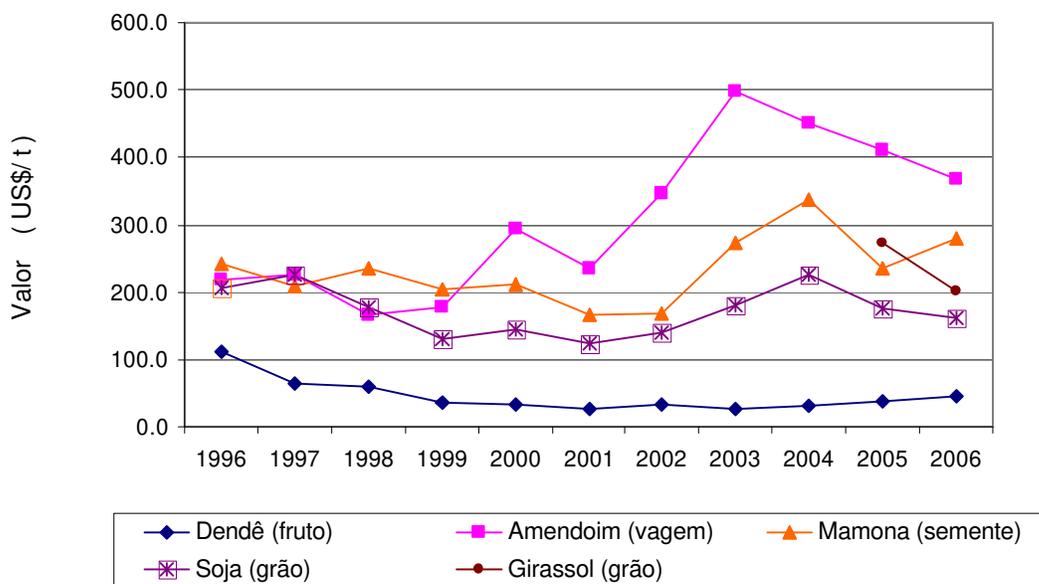


Figura 3.1. Preço médio no Brasil pago ao agricultor pela produção de dendê (fruto), amendoim (vagem), mamona (semente), soja (grão) e girassol (grão) a partir de dados do IBGE.

Para a média calculada para o período entre 1996 e 2006, a mamona é a que apresentou maior variação de preços, expressa pela sua volatilidade (desvio padrão/média): (0,40), seguida pela soja (0,35) e pelo amendoim (0,31).

3.1.2 Os leilões de biodiesel

O biodiesel é comercializado no país através de leilões públicos realizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP de forma a contribuir para o aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética nacional. Participam do leilão as empresas produtoras autorizadas pela ANP e as sociedades que possuem projeto de produção

reconhecido pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário, que sejam possuidoras do selo "Combustível Social". O Selo Combustível Social é concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário aos produtores de biodiesel que promovam a inclusão social e o desenvolvimento regional por meio de geração de emprego e renda para os agricultores familiares enquadrados nos critérios do PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. O selo é concedido aos produtores que comprem percentuais mínimos (dependentes da região do Brasil) de matéria-prima oriunda da agricultura familiar, além de manterem contratos transparentes com os agricultores sobre valor de compra, condições de entrega da matéria-prima, etc. (ANP, 2008).

Até o momento já foram realizados nove leilões públicos de biodiesel, sendo que o primeiro foi realizado em novembro de 2005. A Tabela 3.1 mostra os preços médios de comercialização do biodiesel nestes leilões.

Pode-se observar na Tabela 3.1 que o preço do biodiesel praticamente dobrou entre o primeiro leilão realizado em 2005 e o nono leilão em 2008. Em 2007, o volume total arrematado foi de 425 milhões de litros e nos primeiros quatro meses de 2008 já foi de 330 milhões de litros. Como em 2008, a comercialização do B2 tornou-se obrigatória em janeiro e a partir de julho a adição passa de 2 a 3%, deve-se produzir ao redor de 1 bilhão de litros até o final deste ano.

Tabela 3.1 Preços médios de comercialização do biodiesel nos leilões (ANP, 2008)

Leilão	Data	Volume arrematado (m ³)	Preço médio (R\$/m ³)	Câmbio US\$/RS (*)	Preço médio (US\$ / t)
1º	23/11/2005	70.000	1904	2,24	965
2º	30/03/2006	170.000	1860	2,14	988
3º e 4º	11 e 12/07/2006	600.000	1747	2,20	901
5º	14/02/2007	45.000	1862	2,01	1051
6º e 7º	13 e 14/11/2007	380.000	1866	1,74	1220
8º e 9º	10 e 11/04/2008	330.000	2711	1,66	1860

(*) dólar médio de 90 dias, calculado entre a data do leilão e 45 dias antes e 45 dias depois da sua realização (Banco Central, 2008)

3.1.3 A produção de óleos vegetais no Brasil

O PNPB é um plano que incentiva a produção de biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas. Assim, é importante entender quais são as produções atuais das principais fontes oleaginosas no país. A Tabela 3.2 mostra a produção dos principais óleos vegetais no Brasil.

Tabela 3.2. Produção dos principais óleos vegetais no Brasil.

Tipo de óleos	Produção no Brasil (1000 toneladas)					Óleo para B2/ óleo produzido em 2006
	2002	2003	2004	2005	2006	
soja	4937	5347	5545	5736	5428	0,14
algodão	196	217	264	257	242	3
palma (dendê)	118	129	142	160	170	5
milho	46	55	64	72	75	10
mamona	40	39	55	70	53	15
amendoim	28	22	22	29	30	26
girassol	27	23	28	23	34	23
canola	17	20	23	27	41	19
palmiste	13	15	16	17	19	41
coco	2	2	2	2	2	406
linhaça	2	2	2	3	4	214
total	6396	6097	6163	6396	6097	0,13

Fonte: Oil World (ABIOVE, 2008)

Até 2006, apenas a produção do óleo de soja estava acima da demanda que seria necessária para produzir o B2, considerando que esta produção fosse destinada para a produção do biocombustível. O óleo de algodão configura-se como a segunda maior fonte de óleo vegetal produzido no Brasil, perto de 242.000 toneladas, seguido pelo óleo de palma, que é da ordem de 170.000 toneladas anuais. O esforço para produzir individualmente todo o B2 necessário seria de 14% para a soja e da ordem de 3 (algodão) e 5 (palma) vezes a produção de 2006. O esforço para produzir o B2 seria bem maior para os óleos de mamona (15 vezes), amendoim e girassol (maior que 23 vezes), considerando um rendimento em massa de 93% (Tabela 5.5) para a transesterificação e a densidade média do biodiesel de 880 kg/m³.

3.1.4 Biodiesel e óleos vegetais – uma avaliação de preços

A destinação dos óleos vegetais para o mercado de biodiesel é dependente do valor pago pelo óleo. A Figura 3.2 mostra o preço médio de exportação de alguns óleos brutos produzidos no país comparados aos preços do biodiesel praticados nos leilões.

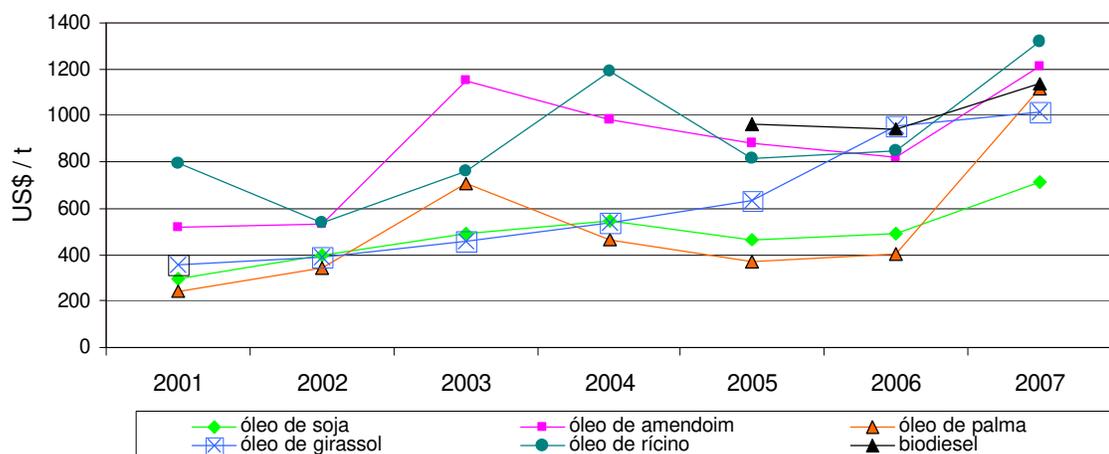


Figura 3.2. Comparação dos preços de exportação de alguns óleos com os preços de biodiesel praticados nos leilões.

Fonte: MDIC, 2008 e ANP, 2008.

A Figura 3.2 mostra que em 2007, o óleo de soja teve o menor preço dentre os óleos avaliados. O óleo de palma (dendê) teve preço próximo ao de soja até 2006 (US\$ 400 / t), mas em 2007 o seu preço aumentou em 2,7 vezes (US\$ 1100 / t), ultrapassando o preço do óleo de soja no mesmo ano (US\$ 700 / t). Os óleos de mamona, amendoim e girassol tiveram os seus preços muito próximos ao do biodiesel e, portanto, têm menor possibilidade de serem usados para a obtenção de biodiesel, uma vez que ainda devem ser somados os custos para a transesterificação.

Embora bastante simplificada, esta avaliação mostra que o óleo de soja tem maior possibilidade de ser usado para a obtenção do biodiesel em função do seu menor preço e maior disponibilidade.

Os custos para a produção das oleaginosas estão relacionados às características intrínsecas de cada produto agrícola, e podem ser reduzidos com o aumento da produtividade por hectare e da melhoria das técnicas agrícolas.

3.2 Potenciais plantas oleaginosas para a produção de biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) baseia-se na utilização de várias culturas oleaginosas. Neste item, realizou-se uma breve avaliação das principais características destas culturas em relação aos seus aspectos agronômicos, de distribuição nas diversas regiões geográficas e de alguns aspectos ambientais.

3.2.1 Soja (*Glycine max*)

Em 2007, o Brasil foi o segundo maior produtor mundial de soja com produção de 58,7 milhões de toneladas, ou 25% da safra mundial, estimada em 220 milhões de toneladas (ABIOVE, 2008). A soja (*Glycine max*), bem como seus subprodutos, é largamente usada na alimentação humana. É rica em proteínas de boa qualidade, ácidos graxos e compostos fitoquímicos. Pesquisas têm demonstrado que as isoflavonas da soja reduzem os riscos de alguns tipos de câncer.

A soja adapta-se bem em uma ampla faixa de clima, sendo que as temperaturas ótimas para o melhor desenvolvimento da soja estão entre 20 e 35°C. Precipitações pluviométricas anuais de 700 a 1200 mm, bem distribuídas, preenchem perfeitamente suas necessidades hídricas. Regiões com excessiva umidade não são adequadas para o seu cultivo.

Além das necessidades climáticas, a cultura da soja somente é economicamente viável em áreas que possibilitam a mecanização, com infra-estrutura, recursos humanos e financeiros disponíveis. O plantio de soja exige como premissas básicas a correção da acidez do solo, a não existência de solo compactado, a constante diminuição da infestação de plantas daninhas e a cobertura do solo com alguma cultura de inverno. O controle de plantas daninhas que infestam o solo é tradicionalmente feito com o uso de herbicidas.

A maioria dos solos cultivados com a cultura da soja constitui-se de solos ácidos e deficientes em alguns nutrientes. A correção da acidez é feita através da calagem, ou seja, adição de calcário. A adubação requer adição de enxofre, fósforo e potássio. Em solos deficientes em manganês, também é necessária sua correção (EMBRAPA SOJA, 2006).

O rendimento em óleo fica ao redor de 18% da massa do grão, com geração de 78% de farelo.

3.2.2 Girassol (*Helianthus annuus*)

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma das quatro maiores culturas oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível em utilização no mundo. Do girassol, quase tudo se aproveita. As raízes, do tipo pivotante, promovem reciclagem de nutrientes. As hastes podem ser usadas para forração acústica, além de, juntamente com as folhas, poderem ser ensiladas para formação de adubo verde. Das flores podem ser extraídos de 20 a 40 kg de mel por hectare plantado, e das sementes, fabrica-se o óleo para consumo humano. A alta relação de ácidos graxos insaturados em relação à de saturados (7,8: 1) confere-lhe boas características para consumo humano quanto à prevenção do colesterol (UNGARO, 2000).

O girassol é uma cultura que se adapta bem a diversos ambientes, podendo tolerar temperaturas baixas e períodos de estresse hídrico, em função principalmente de seu sistema radicular profundo e altamente ramificado. Em geral, 500 a 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao máximo (EMBRAPA SOJA, 2005).

A temperatura ótima para o seu desenvolvimento situa-se entre 27 a 28°C. O girassol é uma planta sensível à acidez do solo, geralmente apresentando sintomas de toxidez em $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ menor que 5,2, exigindo a correção da acidez do solo.

Embora não requeira solos de alta fertilidade, além da exigência de que o solo não apresente acidez, o mesmo não deve estar compactado e deve ser bem drenado para o bom desenvolvimento de suas raízes, evitando o tombamento da planta. A deficiência em nitrogênio tem sido apontada como a desordem nutricional mais freqüente do girassol, afetando o rendimento do mesmo. A deficiência em fósforo causa problemas de crescimento e a deficiência de potássio está relacionada à menor resistência da haste (UNGARO, 2000). Em geral, aplicam-se entre 40 a 60 kg/ha de nitrogênio, de 40 a 80 kg/ha de P_2O_5 e 40 a 80 kg/ha de K_2O (EMBRAPA SOJA, 2005).

O conteúdo de óleo nos aquênios das variedades mais comercializadas varia entre 38 a 48% (UNGARO, 2000).

3.2.3 Coco (*Cocos nucifera*)

A produção de coco (*Cocos nucifera*) no Brasil é composta por cerca de 70% da variedade gigante (400 a 500 g / de polpa por futo, 65 a 70% de gordura na polpa), 20% da variedade anão

(200 g de polpa/fruto, 30% de gordura na polpa) e 10% da variedade híbrida (350 a 400 g de polpa/fruto, 62 a 65% de gordura na polpa). A variedade gigante é muito empregada, *in natura* para uso culinário (na produção de doces, bolos etc.), bem como na agroindústria de alimentos para leite de coco, farinha de coco, entre outros. O coqueiro anão constitui-se na variedade mais utilizada para produção de água de coco, com qualidade sensorial superior às demais cultivares, apesar de poder ser empregada também na agroindústria de alimentos e/ou do fruto seco *in natura* (ARAGÃO, 2007).

O coqueiro (*Cocos nucifera*) também é uma planta de funções múltiplas, pois a partir da mesma pode-se obter bebidas, alimentos, madeira, fibra, combustível, ração animal, cosméticos, remédios, álcool e óleo, entre outros produtos. No Brasil, entretanto, a quase totalidade da produção é destinada ao fornecimento da água de coco para consumo *in natura*.

As fibras duras e rígidas encontram utilização no isolamento térmico e acústico.

Para que o coqueiro manifeste sua potencialidade máxima em termos de produção, a temperatura média anual deve estar em torno de 27°C, com temperatura mínima mensal igual ou superior a 18°C. O período de insolação deve ter 1800 a 2000 horas anuais. A precipitação pluviométrica considerada ideal está entre 1.500 e 1.800 mm/ano, com distribuição mensal nunca inferior a 130 - 150 mm. As maiores plantações brasileiras encontram-se na faixa litorânea do nordeste, que contribui com aproximadamente 80% da produção nacional (TONET, 2008).

Estas características favorecem sem dúvida o plantio nas regiões mais quentes e quase a inviabiliza na região sul.

Os teores médio de gordura determinados na polpa de 6 cultivares de coco anão em Sergipe atingiram um máximo de 25,4 g/100g de polpa aos 11 meses de idade (ARAGÃO et al., 2007)

3.2.4 Dendê (*Elaeis guineensis*)

O dendezeiro (*Elaeis guineensis*) está entre as oleaginosas tropicais de maior rendimento em óleo, com produção entre 3500 e 6000 kg/ha. O óleo obtido é utilizado de duas formas básicas: puro, o conhecido “azeite-de-dendê“, que é extraído da polpa do fruto do dendezeiro, com sabor doce, cheiro forte e alta consistência, bastante utilizado na culinária. O óleo industrializado, após refino e desodorização, é utilizado como matéria-prima para a industrialização de maioneses e margarinas. No Brasil, atualmente, as maiores plantações de

dendê estão concentradas no Pará, no Amazonas, no Amapá e na Bahia (EMBRAPA RONDÔNIA, 2006).

O dendezeiro é uma palmeira que atinge até 15 m de altura, cultura permanente de vida útil de 25 anos, sendo a produção de cachos iniciada 3,5 anos após o plantio. Requer uma cultura em solos profundos, não compactos, médias mínimas de temperatura superiores a 24°C, precipitações acima de 2000 mm/ano, distribuídas durante todos os meses. Requer baixa mecanização e pequena quantidade de defensivos agrícolas. Tais características fazem do Estado do Amazonas uma região perfeita para prática de tal cultura, pois possui todas as características climáticas necessárias ao seu pleno estabelecimento (SANTOS, 2005).

Como cultura perene de alto rendimento em óleo, o dendezeiro reúne importantes características para o desenvolvimento da agricultura familiar, sendo que se estima que 10 hectares plantados sejam suficientes para manutenção econômica de uma família, com fixação do homem no campo, através de emprego e renda (BARCELOS et al, 2002).

Do fruto são retirados o óleo de palma da polpa e o óleo de palmiste da amêndoa, que são utilizados em produtos alimentícios, cosméticos, lubrificantes de máquinas, etc. As fibras das folhas e os cachos vazios são utilizados como tampas de lareiras, o tronco da palmeira na confecção de móveis, a torta de palmiste resultante da extração do óleo é aproveitada como adubo orgânico e ração para animais (SANTOS, 2005). Os materiais da Embrapa/CIRAD apresentam taxa de extração industrial de óleo de 22% a 25% (BARCELOS e SANTOS, 2000).

3.2.5 Canola (*Brassica napus*)

A cultura de canola (*Brassica napus*) constitui-se numa lucrativa e vantajosa alternativa de cultivo de inverno no norte do Rio Grande do Sul (TOMM, 2004).

Os grãos de canola produzidos no Brasil possuem em torno de 24 a 27% de proteína e 34 a 40% de óleo. O óleo de canola é um dos mais saudáveis, pois possui elevada quantidade de Ômega-3 (reduz triglicérides e controla arteriosclerose), vitamina E (antioxidante que reduz radicais livres), gorduras mono-insaturadas (reduzem o LDL) e o menor teor de gordura saturada (controle do colesterol) de todos os óleos vegetais. Médicos e nutricionistas indicam o óleo de canola como o de melhor composição de ácidos graxos para as pessoas interessadas em dietas

saudáveis. O farelo de canola é um excelente suplemento protéico na formulação de rações para bovinos, suínos, ovinos e aves (EMBRAPA TRIGO, 2005).

A lavoura ainda tem custos elevados, exigindo cuidados especiais no cultivo. Requer solos úmidos, mas não tolera chuvas em excesso ou geadas durante a fase inicial de crescimento. O cultivo de canola reduz a ocorrência de doenças, contribuindo para que o trigo semeado no inverno subsequente produza mais e tenha melhor qualidade e menor custo de produção. As pesquisas sobre o cultivo e colheita estão sendo intensificadas para aumentar a confiança dos agricultores, que a consideram arriscada. Rendimento de grãos superiores a 2.000 kg/ha, obtido por alguns agricultores em parcelas experimentais, evidenciam que o potencial de rendimento de canola nas condições do Sul do Brasil supera a produtividade média obtida no Rio Grande do Sul e no Paraná, entre 700 e 800 kg/ha em 2000 (TOMM, 2000). O teor de óleo da semente gira em torno de 40 a 45%.

3.2.6 Pinhão-manso (*Jatropha curca*)

O Pinhão manso (*Jatropha curcas*) é uma planta nativa ainda não explorada comercialmente no Brasil, mas que vem sendo apontada como de grande potencial como planta para fornecimento de óleo, adequada para ser desenvolvida na região nordeste do país. Sendo o pinhão manso exigente em insolação e resistente à seca, ela é adequada às condições do semi-árido nordestino. É uma planta rústica, resistente a longas estiagens, bem como a pragas e doenças, sendo adaptável a várias regiões edafo-climáticas, desde o Nordeste, São Paulo até o Paraná. De fácil cultivo, pode ser um instrumento de valorização da agricultura familiar. É um arbusto grande, de crescimento rápido, com altura média entre 2 e 3 metros. O fruto é capsular ovóide com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm. As sementes quando secas medem de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura. Cultivos isolados revelaram elevada produtividade, acima de 2 toneladas de óleo por hectare, valores bem acima das oleaginosas mais comuns. O farelo resultante da extração, após desintoxicação, pode ser usado como adubo orgânico. Entretanto, como são pouquíssimas as pesquisas existentes sobre esta planta, a EMBRAPA recomenda cautela no plantio desta oleaginosa, pois há relatos de produtividade bastante inferiores a estas (ARRUDA, 2004).

3.3 Panorama da produção atual das principais oleaginosas

Quando se avaliam as regiões produtoras de algumas das principais oleaginosas, observa-se que dentre os cultivos que têm potencial para produção de óleo há uma diferença grande no volume de produção atual: a produção da soja é superior a 50 milhões de toneladas de grãos nos últimos anos. Em patamares bem inferiores, na faixa de 2 milhões, está a produção de coco-da-baía e caroço de algodão(Figuras 3.3 e 3.4).

A produção de dendê foi da ordem de 1.200.000 toneladas, enquanto que a produção de amendoim girou em torno de 250.000 toneladas. Dentre as culturas aqui consideradas no período 1996-2006, a mamona é uma das que apresentou maior oscilação entre as produções anuais, tendo sido registrados aumento e queda consecutivos, oscilando entre 70.000 e 140.000 toneladas.

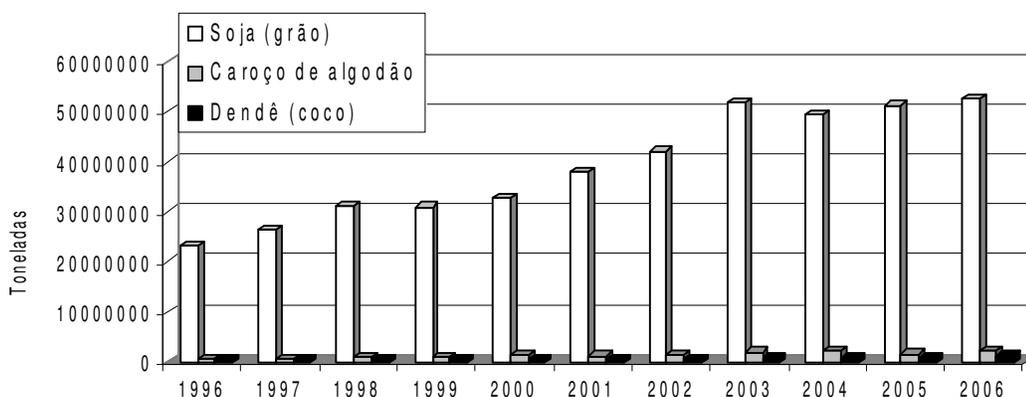


Figura 3.3. Evolução histórica da produção de soja, caroço de algodão e dendê.

Fonte: IBGE, 2008

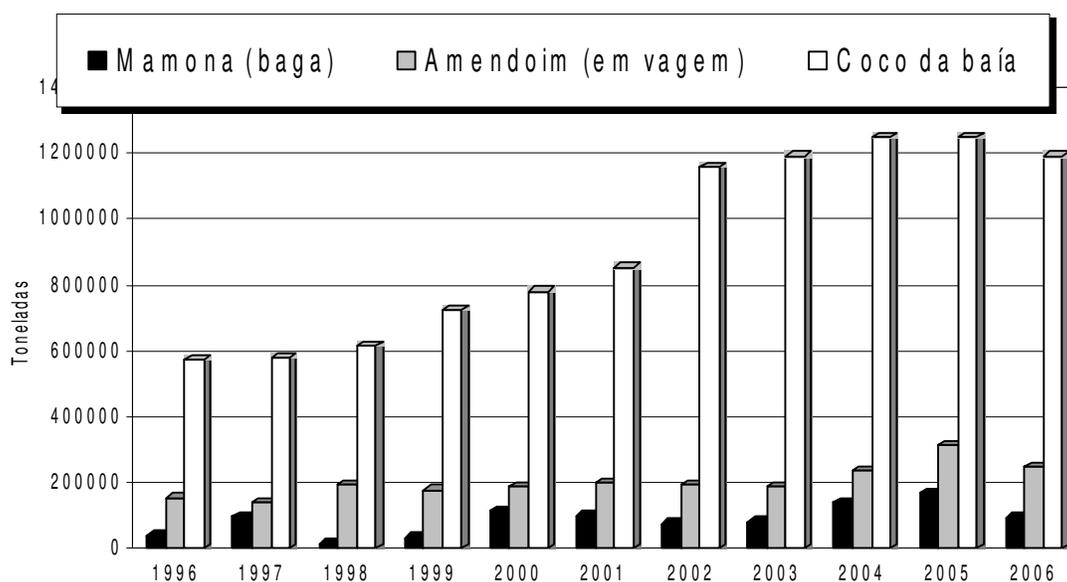


Figura 3.4. Evolução histórica da produção de mamona, amendoim e coco-da-baía.

Fonte: IBGE, 2008

3.4 Distribuição geográfica das principais oleaginosas

A avaliação da distribuição destas culturas pelas regiões geográficas (Figura 3.5) mostra que:

- a região nordeste é a maior produtora de mamona (88%) e coco-da-baía (67%);
- a região norte produz a maior parte (85%) do dendê do país;
- a região sudeste é a maior produtora de amendoim (84%);
- a região centro-oeste tem expressivas produções de soja (49%), girassol (63%) e caroço de algodão (63%);
- a região sul destaca-se na produção de soja (34%) e girassol (37%).

A análise destes dados, em conjunto com os dados apresentados na Figura 3.1, mostra que as maiores produções situam-se nas regiões Centro-oeste, Sudeste e Sul.

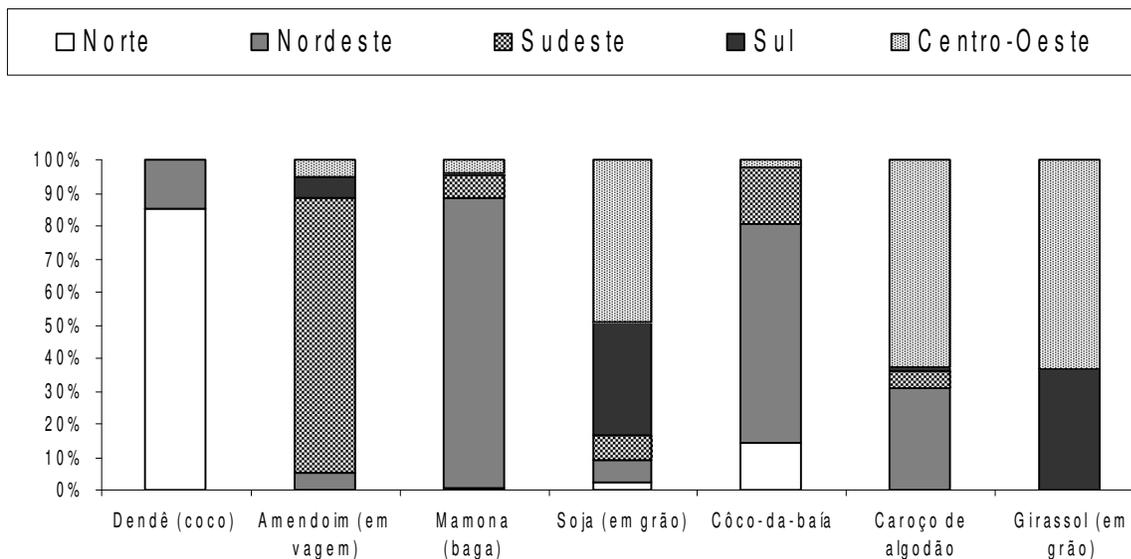


Figura 3.5. Participação das 5 regiões geográficas brasileiras na produção de dendê, amendoim, mamona, soja, coco-da-baía, caroço de algodão e girassol.

Ano base: 2006. Fonte: IBGE, 2008.

3.5 Rendimento médio das principais oleaginosas

A avaliação da produtividade (Figura 3.6) mostra que o rendimento da cultura de dendê é muito superior ao rendimento das demais, situando-se entre 10 e 12 toneladas por hectare, sendo seguido pelo coco-da-baía no patamar entre 3 a 4 toneladas por hectare. Além disso, estas culturas apresentaram um aumento na quantidade produzida por hectare de 51% (dendê) e de 39% (coco) entre 2000 e 2006.

As culturas de amendoim e caroço de algodão também registraram aumentos de 26% e 24%, respectivamente, no mesmo período, mas o rendimento de ambos é da ordem de 2,2 toneladas por hectare. A soja, já tendo atingido elevados patamares de produtividade, mostrou uma ligeira queda de 1% entre os anos de 2000 e 2006, provavelmente devido a variações climáticas anuais.

A mamona tem os menores rendimentos dentre as culturas avaliadas, ficando entre 0,6 e 0,8 toneladas por hectare.

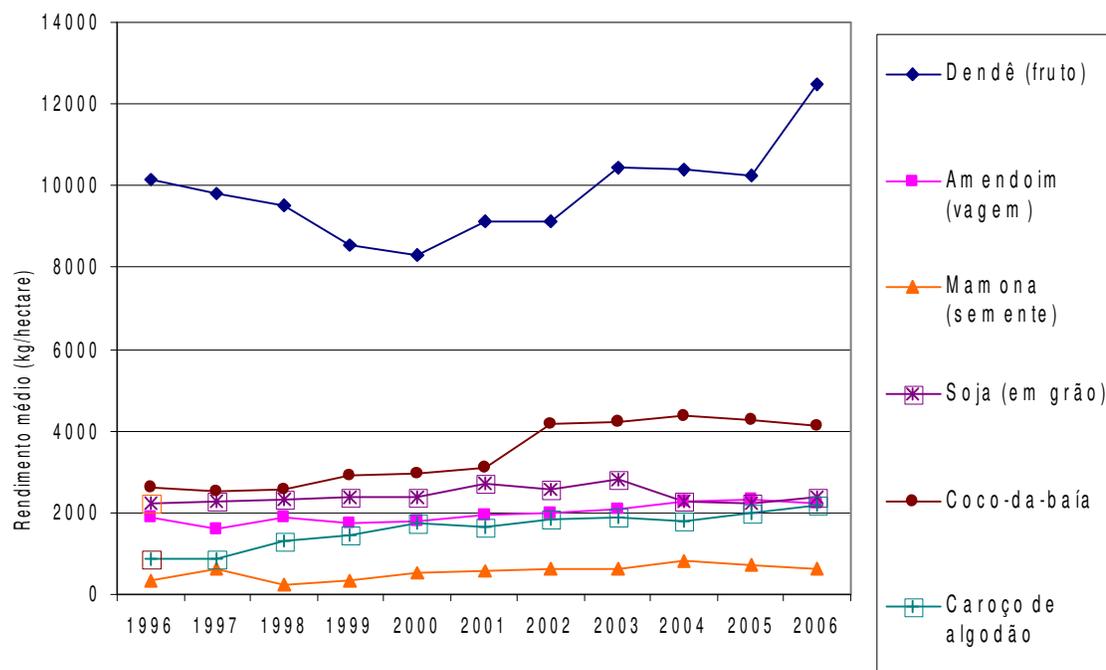


Figura 3.6. Evolução do rendimento médio no Brasil das culturas de dendê, amendoim, mamona, soja, coco-da-baía e carço de algodão.

Fonte: IBGE, 2008

A partir do rendimento médio obtido no país no período compreendido entre 2002 e 2006, e do conteúdo médio de óleo de cada cultura, avaliou-se o potencial de produção de óleo, como mostrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Estimativa do potencial em óleo por hectare de algumas oleaginosas.

Matéria-prima	Rendimento do cultivo (kg/hectare)(a)	Conteúdo de óleo considerado (%)	Potencial de óleo (kg/hectare)	Uso de terra (hectares/t de óleo)
Dendê (coco)	12509 (b)	25 (f)	3127	0.3
Amendoim (grão)	1681 (c)	46 (g)	773	1.3
Soja (grão)	2419 (c)	18 (h)	445	2.2
Coco da baía (fruto)	6850 (b, e)	0.28 (i)	1904	0.5
Carço de algodão	1969 (c)	18 (j)	354	2.8
Mamona (semente)	703 (c)	48 (k)	337	3.0
Girassol (semente)	1399 (c)	48 (l)	672	1.5
Canola (semente)	1100 (d)	40 (m)	440	2.3

(a)=Ano de referência de 2006; (b) IBGE, 2008; (c) CONAB, 2008; (d) TOMM, 2006; (e) número de frutos por hectare; (f) BARCELOS e SANTOS, 2000; (g) EMBRAPA ALGODÃO, 2008a; (h) LOVATELLI, 2005; (i) kg de óleo por fruto estimado a partir de dados de ARAGÃO et al, 2007; (j) EMBRAPA ALGODÃO, 2003; (k) EMBRAPA ALGODÃO, 2008b; (l) UNGARO, 2000 e (m) EMBRAPA TRIGO, 2005.

Os valores aqui apresentados são apenas indicativos, uma vez que é possível obter cultivares com maiores produtividades tanto da cultura como em óleo. Estes valores mostram, entretanto, a ordem de grandeza do potencial de cada matéria-prima. O dendê e o coco apresentam elevado potencial de geração de óleo, da ordem de 3100 e 1900 kg de óleo por hectare, respectivamente. Abaixo, vem o amendoim, com cerca de 770 kg de óleo /hectare e o girassol com 670 kg de óleo / hectare. A soja e a canola ficam próximas a 450 kg de óleo por hectare. O algodão e a mamona ficam ao redor de 350 kg de óleo /hectare.

Cabe lembrar que algumas culturas estão próximas ao rendimento máximo em função do atual estágio de produção e pesquisa, como a soja. Outras, bem abaixo do esperado. Há experimentos regionalizados, nos quais o rendimento da canola foi o dobro do aqui apresentado, mas mais pesquisas são necessárias para melhoria das técnicas e cultivares empregados.

O rendimento da mamona, por outro lado, é fortemente afetado pela região de cultivo: enquanto que na região nordeste a produtividade média foi de 636 kg/ha; na região sudeste, na mesma safra de 2003/04, a produtividade média foi de 1167 kg/ha, devido principalmente a adoção de técnicas agrícolas mais modernas e uso de sementes selecionadas (SAVY, 2005).

3.6 Potencial de participação das regiões geográficas

Considerando-se a quantidade produzida de cada uma destas culturas nas diferentes regiões geográficas e o rendimento médio em óleo das mesmas no Brasil, estimou-se qual seria o potencial de participação das regiões geográficas, se todas estas culturas fossem usadas como matéria-prima para a produção de biocombustível, como mostrado na Tabela 3.4.

Esta distribuição mostra que se a participação de todas estas oleaginosas tornar-se efetiva, as regiões sul e centro-oeste seriam as principais potenciais fornecedoras de óleo do programa, fato fortemente influenciado pela produção de soja, muito superior às demais.

Tabela 3.4. Estimativa do potencial de participação das regiões geográficas no programa de biocombustíveis, considerando-se a produção no ano de 2006 das seguintes oleaginosas: dendê, amendoim, mamona, soja, coco-da-baía, caroço de algodão, girassol e canola.

Região geográfica	PIB per capita, 2003 (R\$)	Potencial de geração de óleo (%)
Norte	5512	5,3
Nordeste	4306	10,2
Sudeste	11257	8,6
Sul	10998	30,8
Centro-Oeste	9278	45,1

Obs: A área cultivada de canola em 2006 considerada foi de 26500 hectares (TOMM, 2006) Fonte dos dados: IBGE.

Embora o programa governamental tenha forte apelo de desenvolvimento social para as regiões Norte e Nordeste, regiões onde se registram as menores rendas per capita do país, as regiões Sul e Centro-Oeste são as que têm maior potencial de fornecimento destes combustíveis em curto prazo.

O desenvolvimento de outras culturas pode vir a mudar este quadro. O pinhão-manso, por exemplo, desenvolveria principalmente a região nordeste.

3.7 Rendimento em óleo & aspectos ambientais

O rendimento em óleo por hectare é um parâmetro de grande importância entre os muitos números existentes. Vários aspectos sociais e ambientais decorrem destes números, poucas vezes comentado.

O rendimento em óleo está relacionado, em primeiro lugar, à extensão de terra que será destinada ao cultivo agrícola. Os óleos obtidos a partir de mamona, caroço de algodão, canola e soja necessitam respectivamente de 3,0 / 2,8 / 2,3 / 2,2 hectares para a produção de 1 tonelada de óleo, enquanto que, em outro oposto, as culturas coco-da-baía e de dendê necessitam apenas 0,3 e 0,5 hectares por tonelada de óleo respectivamente.

Seria racional criar um programa de produção de óleo vegetal a ser queimado como combustível a partir de cultivos com baixa produtividade em óleo?

Grandes áreas de plantio estão associadas geralmente a um maior grau de mecanização agrícola, maior transformação da terra e degradação do solo pelo uso de equipamentos pesados e menor possibilidade de viabilização da agricultura familiar.

Neste sentido, cabe também diferenciar as lavouras que são perenes das que são temporárias. O IBGE classifica como cultivo de lavoura temporária as plantas com ciclo vegetativo menor que um ano, efetuado em áreas extensas, com necessidade de tratamentos culturais menos intensivos e sistemáticos do que na horticultura. Os cultivos de lavoura permanente consistem nas plantas de ciclo vegetativo de longa duração, que produzem por vários anos e que necessitam de tratamentos culturais somente a cada safra.

Portanto, as lavouras permanentes como as de dendê, coco-da-baía e caroço de algodão, por não serem anuais, não exigem preparação do solo todo ano, revolvimento das terras, elevada quantidade de defensivos agrícolas, etc. Já as lavouras temporárias, como amendoim, soja, girassol, canola, mamona, replantadas anualmente, são em geral mais agressivas ao meio ambiente, pois exigem maiores movimentações de terra, aumentando as possibilidades da ocorrência de processos erosivos.

Ainda, associada à rentabilidade em óleo está a geração de subprodutos, como as tortas resultantes do processo de esmagamento e extração dos óleos. Assim, quanto menor a rentabilidade em óleo, maior é a quantidade dos subprodutos formados, que devem ter a sua cadeia de aproveitamento também estruturada para evitar acúmulo de resíduos e também viabilizar economicamente o cultivo.

3.8 Estimativa do aumento da produção de oleaginosas para suprir demanda de biocombustíveis

A partir do volume atual de produção das oleaginosas e do rendimento em óleo de cada cultura, estimou-se que seria necessário aumentar ou redestinar cerca de 6,6 % da produção das mesmas para posterior transformação em combustível vegetal para suprir a demanda de biocombustível, estimada em 812 milhões de litros para o ano de referência de 2006, considerando-se a obrigatoriedade de adição de 2% de combustível vegetal (Lei 11097/05 de 13 de janeiro de 2005) ao diesel de petróleo.

Muitos produtores estão investindo na produção destes cultivos acreditando num crescimento de mercado que talvez não ocorra nas proporções esperadas.

É importante dimensionar este mercado para que não se crie uma falsa expectativa de crescimento na produção destas oleaginosas num país onde, historicamente, o produtor tem sido um dos elos da cadeia produtiva mais afetado pelo planejamento agrícola inadequado.

3.9 A opção pela soja

Os dados da Tabela 3.2 mostram que 89% de toda a produção de óleo vegetal no Brasil é de óleo de soja. O algodão, a segunda maior fonte de óleo vegetal é responsável por apenas 4% da produção nacional, seguido pelo óleo de dendê, que representa 2,8% da produção total.

Este fato, associado a toda a cadeia produtiva existente ligada à soja, ao seu menor preço em relação aos demais, ao número de fazendas que cultivam o grão, empresas que fazem o esmagamento e a extração do óleo e empresas que efetivamente têm comercializado o biocombustível, direcionaram este estudo para a focalização do balanço energético na cadeia produtiva da soja. Segundo a ANP, cerca de 80% do biodiesel comercializado no país é produzido a partir da soja (GAZETA MERCANTIL, 2008).

Embora o governo tenha uma expectativa de desenvolvimento da agricultura familiar com o PNPB, esta parcela do setor produtivo necessita estar bem organizada, para que possa ser capaz de suprir a grande demanda do setor energético de forma competitiva.

Capítulo 4

Princípios da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida e o balanço energético

4.1 A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida

A avaliação do ciclo de vida - ACV de um produto é um instrumento que permite uma contabilização ambiental de todas as retiradas de recursos naturais e energia da natureza, bem como as “devoluções” para a mesma. Através desta contabilização é possível fazer uma previsão dos impactos ambientais potenciais relativos às entradas e saídas do sistema. A contabilidade inicia-se na natureza, em termos do uso de recursos naturais como água, minérios, florestas, terra, petróleo, considerando todas as transformações necessárias dentro da cadeia produtiva para a obtenção do produto ou serviço, incluindo as etapas de processamento, distribuição e transporte, reciclagem e disposição final. A contabilidade é finalizada na natureza, expressa em termos de resíduos e emissões para a água, terra e ar. Os princípios da ACV são esquematizados na Figura 4.1 (MOURAD et al, 2002).

Os primeiros estudos envolvendo os princípios da avaliação de ciclo de vida foram realizados na década de 1960, motivados pelas questões da escassez de recursos naturais, como a crise de petróleo. Inicialmente voltados ao uso de energia, estes estudos exigiam o levantamento do fluxograma de processo para a realização do balanço de energia. Exemplo típico deste tipo de avaliação foi desenvolvido na análise do uso de energia na produção de álcool e açúcar no Brasil (NOGUEIRA, 1987). Neste estudo faz-se uma análise dos fluxos energéticos associados às etapas agrícola e industrial, visando-se a racionalização energética.

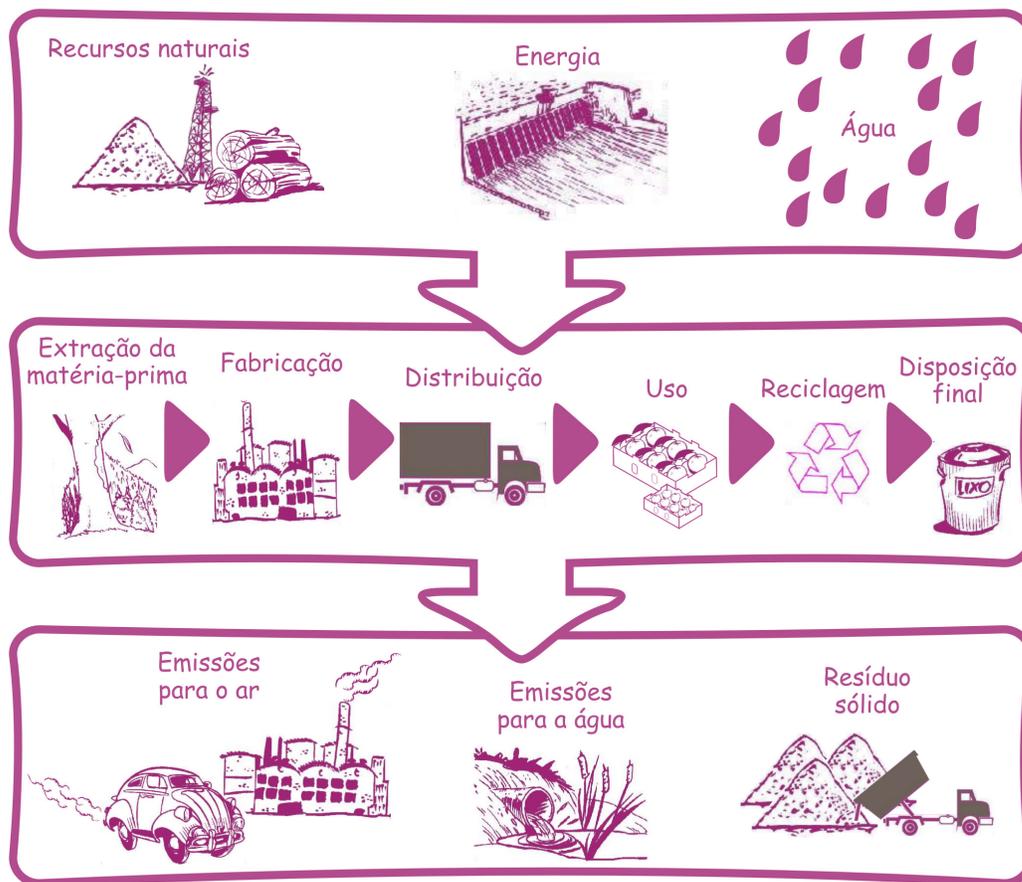


Figura 4.1. Representação esquemática da ACV.

(Fonte: MOURAD et al, 2002).

Nos anos 1980, problemas localizados de poluição devido à ação do homem, como a geração de lixo e a fumaça fotoquímica nos grandes centros, contaminação de rios e formação de chuva ácida motivaram a realização de acordos internacionais para redução destes problemas. Estes esforços exigiam a necessidade da contabilização das emissões para o ar e para a água. Como a metodologia para analisar a geração destes poluentes é semelhante ao cálculo do consumo de energia, a nova metodologia resultante passou a ser chamada de *ecobalço*, *análise de berço ao túmulo*, *análise de ciclo de vida* ou *avaliação de ciclo de vida* (GARCIA, 2002). A metodologia foi gradualmente sendo aperfeiçoada de forma a gerar parâmetros para tomada de decisões, para a quantificação de diferentes impactos ambientais, etc. Consequentemente surgiu a necessidade de padronização da metodologia para comparação de diferentes estudos.

Atualmente, a metodologia da ACV está definida pela norma da série ISO 14000, a **ISO14040:2006** que juntamente com a ISO 14044 cancela e substitui as normas 14040:1997, 14041:1998, 14042:2000 e 14043:2000. Em seguida, são apresentados alguns pontos gerais desta norma que nortearam o desenvolvimento deste trabalho (ISO 14040, 2006).

4.1.1 As fases da ACV

Estudos de ACV englobam 4 fases que se interrelacionam.

- a) definição do escopo e objetivo
- b) análise de inventário
- c) avaliação de impacto e
- d) interpretação.

Estudos de ICV (Inventário de ciclo de vida) não possuem a fase da avaliação de impacto.

4.1.2 Aspectos importantes de uma ACV

a) a ACV avalia de forma sistemática os aspectos ambientais e impactos de sistemas de produtos, desde a extração das matérias-primas até a disposição final, de acordo com o objetivo e o escopo estabelecidos.

b) a natureza relativa da ACV é devido à característica da unidade funcional da metodologia.

c) o detalhamento e a escala de tempo podem ser bastante variáveis, dependendo do objetivo e escopo do trabalho.

d) suposições são feitas dependendo da intenção do estudo, de forma a respeitar a confidencialidade e temas proprietários.

e) a metodologia de ACV é aberta para a inclusão de novos conhecimentos científicos e melhorias do estado da arte da técnica.

f) não há um único método de condução de ACV. Organizações têm flexibilidade para implementar ACV como estabelecido pela norma.

g) a ACV aponta impactos ambientais potenciais, mas não prevê impactos absolutos ou precisos.

h) não há base científica para reduzir os resultados de ACV a um único número ou valor, uma vez que a ponderação exige escolha de valores.

4.1.3 Conceitos gerais de sistemas de produtos

A ACV modela um ciclo de vida de um produto como um sistema, que desempenha uma ou mais funções definidas. A propriedade essencial de um sistema de produto é caracterizada pela sua função e o mesmo não pode ser definido simplesmente pelos seus produtos.

Sistemas de produto são subdivididos em unidades de processo que são interligadas uma a outra por fluxos de produtos intermediários, até a produção final do produto estudado. A Figura 4.2 mostra um exemplo de sistema de produto. O nível de detalhamento da modelagem que é necessário para se alcançar o objetivo do estudo é que determina as fronteiras do estudo.

4.1.4 Objetivo e escopo

O objetivo e o escopo estabelecem a intenção do estudo, as razões para a condução do mesmo, o público a quem se destinam os resultados, se os resultados têm o propósito de serem usados em comparações abertas ao público. O escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o detalhamento do estudo sejam compatíveis e suficientes para se alcançar os objetivos estabelecidos.

O escopo inclui os seguintes itens:

- o sistema de produto a ser estudado,
- as funções dos sistemas de produtos,
- as fronteiras do sistema,
- os procedimentos de alocação,
- as categorias de impactos selecionadas,
- requisitos dos dados,
- suposições,
- limitações.

Sendo uma técnica interativa, os objetivos podem ser mudados em função do andamento do próprio estudo e da coleta de dados realizada.

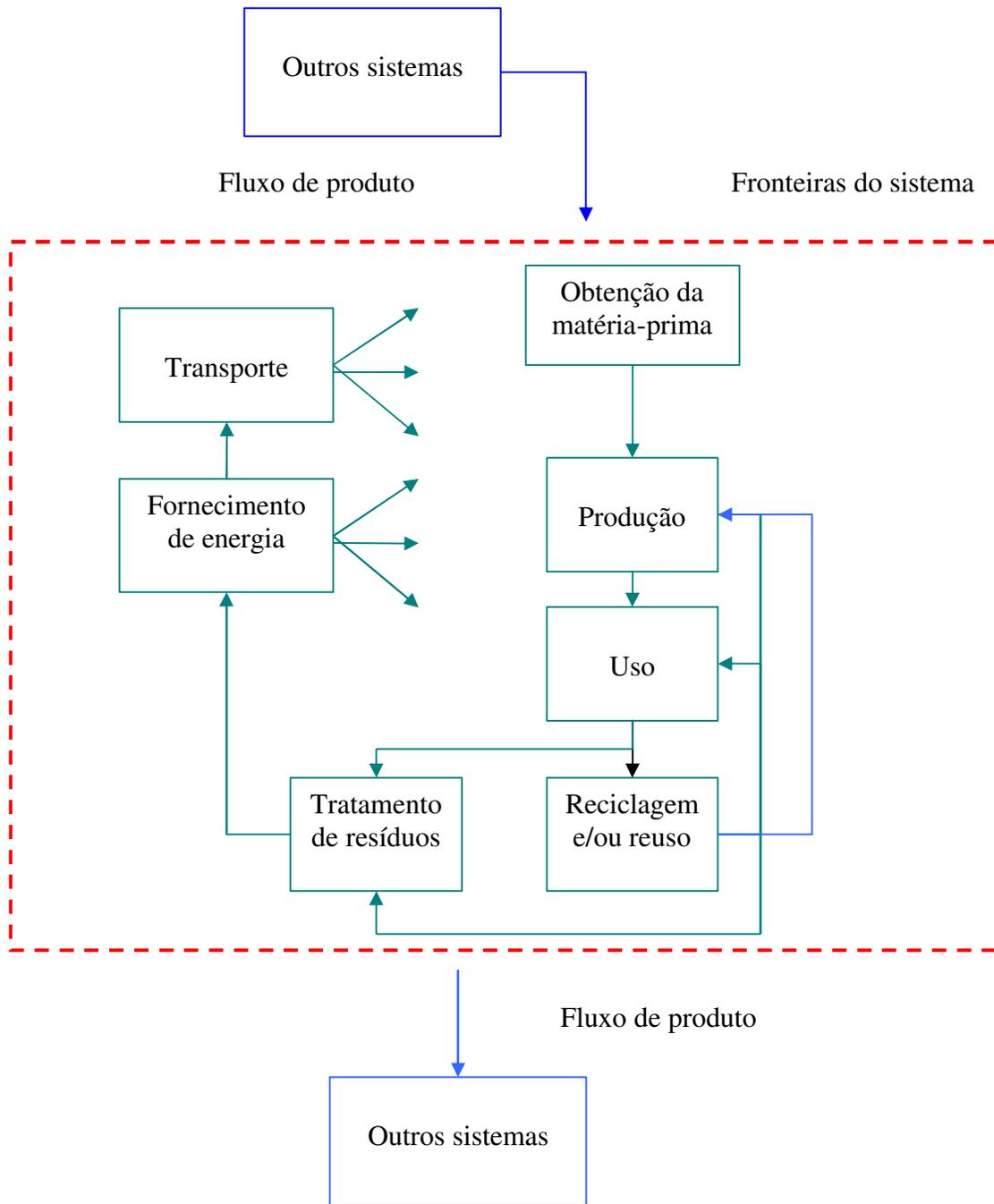


Figura 4.2. Exemplo de um sistema de produto para ACV.

4.1.5 Unidade funcional

A função selecionada de um sistema deve estar de acordo com o objetivo do estudo. A unidade funcional define as quantidades das funções identificadas do produto. O propósito principal da unidade funcional é fornecer uma referência na qual as entradas e saídas do sistema são relacionadas. A referência é necessária para permitir a comparabilidade dos estudos de ACV. A comparação de estudos de ACV só pode ser feita em bases comuns.

4.1.6 Fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema definem os processos unitários a serem incluídos no sistema. A escolha dos elementos a serem modelados depende do objetivo e escopo do estudo, do propósito de aplicação do estudo, do público, das suposições feitas, das restrições de dados e custo, dos critérios de exclusão. Os modelos usados devem ser descritos e as suposições que sustentam o modelo devem ser identificadas. Os elementos que devem ser considerados para o estabelecimento das fronteiras são;

- aquisição das matérias-primas,
- entradas e saídas da principal seqüência do processo de produção,
- distribuição e transporte,
- produção e uso de combustíveis, eletricidade e calor,
- uso e manutenção dos produtos,
- disposição de resíduos e produtos,
- recuperação de produtos usados.

4.1.7 Qualidade dos dados

A descrição da qualidade dos dados é importante para entender a confiabilidade dos resultados do estudo e interpretar corretamente as conclusões do mesmo. Em geral, a obtenção de dados relacionados a processos industriais é bastante difícil, devido ao caráter de confidencialidade dos mesmos. Outro aspecto, de igual importância, é a inexistência de muitos dados, o que torna necessária, muitas vezes, a estimativa dos mesmos.

4.1.8 Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

A análise de inventário envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes do sistema de produto.

Os principais dados a serem coletados incluem as entradas de energia, matéria-prima, produtos, co-produtos, resíduo e emissões. Restrições no processo de coleta de dados podem levar a mudanças no objetivo do trabalho. Após validação dos dados, o inventário final é obtido pela correlação dos processos individuais através da unidade funcional. Considerações relativas à alocação devem ser registradas nos processos que envolvam a produção de mais de um produto.

4.1.9 Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A avaliação de impacto tem o objetivo de avaliar o significado dos impactos ambientais potenciais a partir dos dados de inventário. Este processo envolve a associação dos dados de inventário com categorias de impacto ambiental específicos.

A falta de dimensões espaciais e temporais nos resultados do inventário introduz incerteza nos resultados da avaliação de impacto.

Não há metodologias para associar precisamente e consistentemente os dados de inventário com os impactos ambientais potenciais específicos.

4.1.10 Interpretação de Ciclo de Vida

Interpretação é a fase da ACV na qual os resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto são considerados juntamente, ou no caso de estudos de inventário, somente os resultados de inventário são considerados. A fase de interpretação deve apresentar resultados que sejam consistentes com o objetivo e escopo definido, explicar as limitações e fornecer recomendações.

A interpretação deve refletir o fato que os resultados do estudo são baseados numa abordagem relativa e que eles indicam impactos ambientais potenciais. Assim, os resultados não podem prever os impactos reais sem exceder os limites ou margens de segurança ou riscos.

4.2 Balanço energético – uma revisão

4.2.1 O método para cálculo do balanço

O balanço energético tem sido calculado de formas distintas por diferentes pesquisadores, o que torna difícil a comparação dos mesmos.

Existem dois conceitos principais nestes estudos.

O primeiro trata da relação entre a energia gerada pelo combustível e a soma do conteúdo energético de todos os insumos no ciclo de vida do combustível desde a extração ou cultivo até a produção do combustível. Esta relação é chamada de **eficiência energética de ciclo de vida** – *life cycle energy efficiency* - (SHEEHAN et al., 1998) ou **razão de energia líquida (REL)** – *net energy ratio (NER)* (PRADHAM et al, 2008).

$$\text{Eficiência energética de ciclo de vida} = \frac{\text{energia do combustível}}{\sum \text{energia primária de todos os insumos}} \quad \text{Equação (1)}$$

O segundo conceito mede a relação existente entre a energia gerada pelo combustível e o consumo apenas dos combustíveis fósseis utilizados para a sua produção, e é chamado de **razão de energia fóssil** – *fossil energy ratio* (SHEEHAN et al., 1998). Este segundo conceito é usado para avaliar o grau de renovabilidade de biocombustíveis, pois se trata da razão entre a energia renovável contida no biocombustível e a somatória das energias não renováveis consumidas até a sua produção. Este parâmetro é também chamado de **fator de renovabilidade (FR)** – *renewability factor (RF)* (PRADHAM et al, 2008).

$$\text{Razão de energia fóssil} = \frac{\text{energia do combustível}}{\sum \text{energia primária apenas dos insumos fósseis}} \quad \text{Equação (2)}$$

A energia primária total é a soma do conteúdo energético de todos os recursos extraídos do ambiente no ciclo de vida de cada combustível. A eficiência de ciclo de vida é uma medida da quantidade de energia que entra num ciclo para a produção do combustível, que termina na produção do combustível. Esta eficiência considera as perdas de energia estocada nas matérias-

primas e a energia de processo adicional para a produção do combustível (SHEEHAN et al., 1998).

O pesquisador David Pimentel, dos EUA, tem publicado estudos de balanço energético em que a energia associada a todos os insumos da cadeia produtiva, bem como a energia gasta pelos trabalhadores, manutenção e desgaste dos equipamentos, também é considerada para o cálculo da razão *output/input*, ou simplesmente **balanço O/I**, através da normalização das quantidades dos mesmos pela unidade funcional, utilizando os princípios da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida. A energia associada a cada insumo é baseada em diferentes estudos nos quais foi feito o levantamento geral dos gastos de energia necessários para a produção de cada componente (PIMENTEL & PATZEK, 2005).

4.2.2 Estudos realizados envolvendo balanço energético

A relação de energia fóssil/renovável tem sido utilizada como um parâmetro para avaliar a eficácia de diferentes biocombustíveis na redução do uso de recursos não renováveis.

Estudo realizado na Alemanha entre 1993 e 1996 (KALTSCHMITT et al, 1997), apoiado nos princípios da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida, comparou diferentes fontes de energia renovável, sólidas e líquidas, e alguns resíduos agrícolas, com o diesel de petróleo. Neste estudo foram consideradas as etapas de plantio, produção, uso e disposição final dos mesmos. *Miscanthus* (um tipo de grama nativa de regiões tropicais e subtropicais), cavacos de madeira da plantação de *poplar* (árvore usada para fabricação de celulose/papel, lenha, paletes, etc.) apresentaram o maior ganho líquido de energia, de 150 GJ/hectare ano. Ganhos menores, da ordem de 30 GJ/hectare ano foram encontrados para etanol derivado de batatas e trigo, óleo de *rapessed* (uma variação da canola) e éster metílico do óleo de colza (*rapeseed*) e resíduos agrícolas. Os ganhos de energia estão associados ao rendimento do cultivo por hectare por ano.

Extenso estudo para levantamento dos inventários de ciclo de vida de biodiesel e diesel para uso em ônibus urbano foi realizado para o U.S Department of Energy's Office of Fuels Development e para o U.S. Department of Agriculture Office of Energy pelo National Renewable Energy Laboratory dos EUA. Neste estudo foram incluídas para o diesel as etapas de extração do petróleo, transporte do petróleo até a refinaria, refino do óleo para obtenção do diesel, transporte do diesel até o ponto de uso e o uso do combustível em ônibus com motor a

diesel. Para o biodiesel de soja, foram incluídas as etapas de produção dos grãos, transporte dos grãos até a planta de esmagamento, esmagamento e extração do óleo, transporte do óleo até as plantas de biodiesel, transporte do biodiesel até o ponto de uso e uso do combustível em ônibus movido a motor diesel. Para o diesel de petróleo, o estudo mostrou que 1,2007 MJ de energia primária são usados para produzir 1 MJ de diesel, o que corresponde a uma eficiência energética de ciclo de vida de 83,28%. Do consumo energético, 92,7 % é usado no processo de extração do petróleo. No inventário de ciclo de vida do biodiesel são necessários 1,2414 MJ de energia em insumos para produzir 1 MJ de biodiesel de soja, o que resulta numa eficiência de energia de ciclo de vida de 80,55%. Assim, o biodiesel é comparável ao diesel na conversão de energia primária em energia de combustível. O biodiesel consumiu 0,3110 MJ de energia fóssil para produzir 1 MJ em biocombustível, equivalentes a uma razão de energia fóssil de 3,215 (SHEEHAN et al, 1998).

Grupo de pesquisa da Universidade de Santa Cruz, na Bahia, determinou a relação *output-input* para a produção dos ésteres metílicos e etílicos obtidos a partir da mamona. Usando dados agrícolas relativos às orientações de cultivo, de rendimento padrão médio do cultivo da mamona para o estado da Bahia, de 1800 kg de baga/ha, e consumos energéticos estimados para todas as entradas e saídas dos processos de obtenção de biodiesel, incluindo as etapas de plantio, esmagamento e refino, o estudo determinou relações de O/I de 1,3 e 1,9 para os processos via rotas metílica e etílica, respectivamente. Como o maior consumo de energia concentra-se na fase agrícola (cerca de 75%), os consumos de energia por unidade de área em todo o ciclo não foram muito diferentes pela via metílica - 24,69 GJ/ha ou etílica - 23,82 GJ/ha (ALMEIDA NETO et al, 2004).

Estudo realizado por Pimentel e Patzek para a produção de etanol a partir de milho, *switchgrass* (um tipo de grama que cresce rápido), biomassa vegetal e de biodiesel a partir de soja e girassol não mostrou ganho líquido de energia para nenhum destes combustíveis. No balanço realizado foram computados os gastos energéticos associados aos insumos para a produção agrícola nos quais se incluem os gastos com trabalho humano, maquinário, diesel, gasolina, fertilizantes, cal, sementes, irrigação, pesticidas, energia elétrica. Na etapa industrial, foi considerado o consumo energético associado à matéria-prima, seu transporte, água, aço, aço inoxidável, cimento, vapor, eletricidade e tratamento de efluentes. Os resultados relacionados às

entradas e saídas de energia mostraram que o etanol produzido a partir de milho, *switchgrass* ou biomassa vegetal gastou 29, 50 e 57% a mais de energia, respectivamente, que a fornecida pelo etanol. Já o biodiesel produzido a partir de soja e girassol consumiu 27 e 118% a mais de energia que os respectivos combustíveis resultantes (PIMENTEL e PATZEK, 2005).

Grupo de pesquisadores no Brasil realizou o balanço energético para a produção de soja e girassol num estudo envolvendo as etapas agrícola e industrial e incluindo também os gastos energéticos para a construção das plantas industriais, como cimento, aço e aço inoxidável. Nele, o balanço energético foi realizado mesclando-se dados de insumo e produto citados por diferentes fontes bibliográficas. O grupo usou os mesmos fatores energéticos associados às máquinas e implementos, fertilizantes, agrotóxicos, óleo diesel, trabalho humano e energia contida nas sementes citados por estudo realizado nos EUA. As quantidades propriamente ditas dos insumos como diesel, nitrogênio, fósforo, calcário, sementes, pesticidas foram cada qual extraídas de diferentes estudos. Os gastos e fatores energéticos relacionados ao processamento industrial também foram extraídos do mesmo estudo realizado nos EUA. O balanço final encontrado considerando-se apenas a produção de óleo foi positivo (produtos geraram mais energia do que a gasta devido aos insumos) de 1:1,57 para a soja e de 1:1,61 para o girassol. Considerando-se a energia contida nos subprodutos, o balanço citado foi ainda melhor sendo de 1: 4,75 para a soja e de 1: 2,69 para o girassol (GAZZONI et al, 2006).

Recente trabalho foi publicado mostrando os balanços energéticos para a produção de etanol no Brasil expresso em termos do fator de renovabilidade. O estudo mostra uma relação de energia renovável em relação à energia fóssil de 9,3, ou seja, altamente favorável. Neste estudo foram contabilizados todos os insumos para a produção agrícola, colheita e processamento industrial representativos de 44 usinas da região Centro-Sul do Brasil que processaram juntas 100 milhões de toneladas de cana na safra de 2005/2006. Foram também contabilizados os conteúdos energéticos associados aos equipamentos agrícolas e industriais (MACEDO et al., 2008).

Capítulo 5

Levantamento de dados da cadeia produtiva do biodiesel a partir da soja

5.1 A obtenção dos grãos de soja

5.1.1 O cultivo da soja

A soja é plantada em praticamente todo o território nacional, sendo, entretanto, as regiões Centro-Oeste (49%) e Sul (34%) as de maior representatividade neste plantio. Estas regiões apresentam características edafo-climáticas diferentes e tecnologias de manejo apropriadas a cada região.

As exigências hídricas são importantes principalmente nos períodos de germinação-emergência e floração-enchimento dos grãos. Para obtenção de máximo rendimento, a necessidade de água em todo o ciclo varia entre 450 e 800 mm/ciclo. Para minimizar os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento da cultura, deve-se utilizar cultivares adaptados à região e ao solo e semear em épocas recomendadas de menor risco climático. A temperatura ideal para o seu crescimento é de 30°C, mas adapta-se bem na faixa entre 20 e 35°C. A exigência fotoperiódica também determina a adaptação do cultivar à determinada região. A rotação de culturas é importante sob vários aspectos, discutidos no Capítulo 7 na seção “A ocupação de terras pelo plantio da soja”. O sistema de plantio direto é o mais recomendado, pois preserva a qualidade ambiental, evitando o preparo do solo e mantendo uma cobertura permanente do terreno com alguma cultura vegetal. Há culturas indicadas para a prática da rotação de culturas para cada região geográfica. A queima dos resíduos agrícolas do plantio anterior deve ser sempre evitada. Na impossibilidade de uso do sistema de plantio direto, que é o mais recomendado, a

preparação do solo deve ser feita de forma racional. As operações de aração e gradagem pesada devem atingir profundidade adequada ao próprio equipamento. O nivelamento do solo deve ser feito com um mínimo de operações e próximo à semeadura. A acidez do solo deve ser corrigida com a calagem, através da análise prévia do solo (EMBRAPA SOJA, 2008b).

O nitrogênio necessário à cultura de soja é praticamente todo obtido pela fixação simbiótica que ocorre com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. As dosagens de N, P e K dependem da análise do solo, da região de plantio e da produtividade esperada. A soja tem sido objeto de pesquisa permanente no país e novos cultivares são periodicamente registrados. A melhoria dos cultivares com o aumento da produtividade, aumento da adaptação e resistência e tolerância a fatores bióticos ou abióticos adversos, tem tido significativo impacto na eficiência deste setor produtivo, sendo maior que 1% ao ano (EMBRAPA SOJA, 2008b).

A época de semeadura na região Centro Oeste vai de 20 de outubro a 10 de dezembro., mas recomenda-se que seja feita no mês de novembro, quando se obtém as maiores produtividades para a região Centro-Oeste. O método mais usado para o controle de plantas daninhas que competem com a luz solar, água e nutrientes é o da aplicação de herbicidas. O controle das lagartas, percevejos, broca das axilas é feito com inseticidas apropriados a cada caso. A ferrugem asiática, detectada no país pela primeira vez no estado do Paraná, em 2001, tem sido encontrada em todo o país, afeta significativamente a produtividade e deve ser cuidadosamente avaliada e controlada pelo uso de fungicidas, segundo as técnicas recomendadas (EMBRAPA SOJA, 2008b).

5.1.2 Secagem dos grãos

O armazenamento dos grãos para sua utilização no período fora das safras é de grande importância para o fornecimento contínuo deste insumo no setor industrial. A umidade crítica da semente de soja, isto é, a umidade máxima que ela pode ter sem que ocorra a deterioração, é de 13%. Esta secagem é feita nas próprias fazendas ou em empresas que comercializam os grãos (ROHR, 1973). Baixos teores de umidade aumentam a tendência de divisão dos grãos durante o manuseio, formando duas partes de cotilédones. Altos teores de umidade durante a estocagem favorecem o crescimento de fungos e a perda por aquecimento devido à respiração da semente.

Estas situações podem afetar a qualidade da soja e a qualidade e a quantidade de óleo extraído quando processada (HAMMOND et al, 2005).

Muitos fazendeiros estocam a soja seca em *containers* metálicos ou silos de concreto em locais elevados para aguardarem a época de melhor preço do grão.

5.1.3 Coleta de dados do cultivo agrícola

Neste trabalho, para a determinação dos dados relativos ao cultivo da soja, foram feitos levantamentos em propriedades agrícolas localizadas no Estado de São Paulo.

Os levantamentos foram feitos através de entrevistas com agricultores nas cidades de Itapeva e Casa Branca. Segundo o IBGE, a soja foi produzida em 312 municípios do Estado de São Paulo, sendo que Itapeva foi o município com a terceira maior produção do estado em 2006, tendo produzido 72.780 toneladas do grão, que correspondeu a 4,4% da produção do estado de São Paulo no período (IBGE, 2008). A Tabela 5.1 mostra as características das fazendas amostradas.

Tabela 5.1. Localização, área cultivada e produção das fazendas de soja amostradas.

Fazenda	Município	Área plantada		Produção kg/hectare	Produção (t)
		alqueires	hectares		
1	Itapeva	112	268,8	2750	739
2	Itapeva	115	276	3625	1000
3	Itapeva	15	36	3000	108
4	Itapeva	5	12	3500	42
5	Casa Branca	6	15	2320	35
Total		253	608	-	1924
Média ponderada		62	148	3228	472

Nas entrevistas foram levantadas as quantidades de todos os insumos utilizados na safra de 2006/2007 em relação ao uso de fertilizantes, defensivos agrícolas, consumo de diesel e produtividades obtidas. A Tabela 5.2 mostra os resultados deste levantamento.

Tabela 5.2. Resumo de insumos das fazendas para a produção de 1 tonelada de soja úmida.

Parâmetro	Fazendas					Média (*)
	1	2	3	4	5	
Diesel (kg)	10,5	7,1	16,8	21,7	29,2	9,2
Fertilizantes (kg)	109,1	37,93	83,3	83,3	237,1	72,4
Defensivos (kg)	2,0	1,3	1,7	1,3	1,1	1,6
Sementes (kg)	26,0	20,7	18,3	19,0	43,1	23,0

(*) média das 5 fazendas ponderada pela produção das mesmas

A comparação das fazendas mostra que a fazenda 2 tem o maior rendimento por hectare e tem os menores consumo de diesel e de fertilizantes, dentre as fazendas avaliadas, o que lhe confere provavelmente o melhor desempenho ambiental. A fazenda 5, em outro extremo, tem o maior consumo de diesel, de fertilizantes e de sementes e a menor produtividade na amostragem realizada e, portanto, o pior desempenho ambiental. Embora existam diferenças edafo-climáticas que possam influenciar estes dados, estes resultados apontam a necessidade da fazenda 5 reavaliar o uso destes insumos.

Após a produção dos grãos de soja, os mesmos são secos para poderem ser armazenados e utilizados em períodos fora da safra. Nas fazendas amostradas, apenas uma realizava a secagem na própria sede. A produção das demais era vendida com umidade e secas pelos seus compradores. Para cálculo do gasto energético na secagem, foram utilizados dados fornecidos por uma das fazendas amostradas (Tabela 5.3). Considerou-se uma distância média de 40 km, sendo transportada em um caminhão de porte médio.

Tabela 5.3. Insumos/produtos para obtenção de 1 t de soja seca (13% umidade).

Parâmetro	Entradas	Saídas
Grão de soja úmido (kg)	1190	
Energia elétrica (MJ)	42,42	
Lenha (kg)	7,75	
Grão de soja seco (kg)		1000
Vapor de água (perda) (kg)		190

5.2 A obtenção do óleo de soja

Os processos usualmente utilizados para obtenção de óleo são através de meios mecânicos ou extração com solventes orgânicos. Em geral, a prensagem é utilizada para matérias-primas com mais de 30% de óleo. Para matérias-primas com menores teores de óleo usa-se a extração por solvente. Nos processos industriais, geralmente as matérias-primas ricas em óleo são prensadas até um teor residual de óleo da ordem de 20%, sendo o restante extraído por solvente. Por este motivo, na prática, a extração do óleo de soja é feita somente por extração com solvente.

5.2.1 Preparação do grão

A soja recebida passa inicialmente por um processo de **limpeza**, através de peneiras para a retirada de terra, parafusos, grãos quebrados, folhas, ramas da própria planta, sujeiras, pedras, etc. As impurezas de maior dimensão são eliminadas por peneira vibratória e as mais leves por correntes de ar. Após a limpeza, a soja passa pelo processo de descascamento. A casca deve ser retirada antes da extração do óleo, pois possui baixo teor de óleo, alto teor de fibras e, por ser abrasiva, causa desgaste dos equipamentos. Cascas representam entre 7 e 8% do peso do grão. O **descascamento**, ou decortificação, é feito pela quebra das sementes em moinhos especiais, sendo as cascas separadas por peneiras e correntes de ar. Em alguns sistemas, o óleo é extraído sem o descascamento, mas o rendimento do processo é menor e o farelo tem qualidade inferior, com menos proteína e mais fibras. Em alguns processos as cascas são em seguida **peletizadas**, para posteriormente serem dosadas no farelo para ajuste do teor de proteínas.

A retirada do óleo presente nas células das sementes é feita através de moinhos desintegradores especiais. As amêndoas de soja descascada são previamente **aquecidas** e umidificadas. Em seguida são esmagadas, formando **lâminas** de espessura de 0,3 mm que facilitam o escoamento do óleo. Após a laminação, a soja pode ser extrudada ou expandida, e depois resfriada, ou vai direto ao extrator na forma de lâmina.

Para auxiliar o processo de rompimento das células, diminuir a viscosidade do óleo e principalmente inativar fatores anti-nutricionais, o material a ser extraído é também **cozido**. A preparação é completada com a extrusão do material a ser extraído. O material extrudado é mais compacto, porém mais poroso que as lâminas, facilitando a extração do óleo por solvente. A extrusora é formada por um cilindro de aço, no interior do qual o material é empurrado por uma

rosca com eixo de diâmetro crescente. Durante o trajeto, do início até o final do cilindro, o material é comprimido e aquecido por atrito com as paredes do cilindro, atingindo altas temperaturas e pressões. Na saída do cilindro, as sementes passam de um ambiente de alta pressão para a pressão atmosférica. A água existente na massa, devido à umidade das sementes, é evaporada explosivamente, rompendo as células que contêm o óleo. O aquecimento durante o processo de extrusão deve ser suficiente para a inativação dos fatores antinutricionais da soja (PRONAF, 2007).

5.2.2 Extração do óleo

Após a extrusão, o óleo é finalmente extraído por solvente, geralmente hexano, que dissolve o óleo, formando uma “miscela” que é separada do farelo. A “miscela” é destilada separando o óleo do solvente, que é parcialmente recuperado. O farelo é aquecido e tostado para retirada do solvente (**dessolventização**) e complementação do cozimento para inativação de fatores antinutricionais (PRONAF, 2007).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 77,5% da soja comercializada é destinada à obtenção de farelo/óleo e 13,0% é utilizada como alimentos e sementes. Da soja processada, obtém-se 79,3% de farelo e 18,4% de óleo (LOVATELLI, 2005). A Figura 5.1 mostra o esquema geral da preparação dos grãos e posterior extração do óleo.

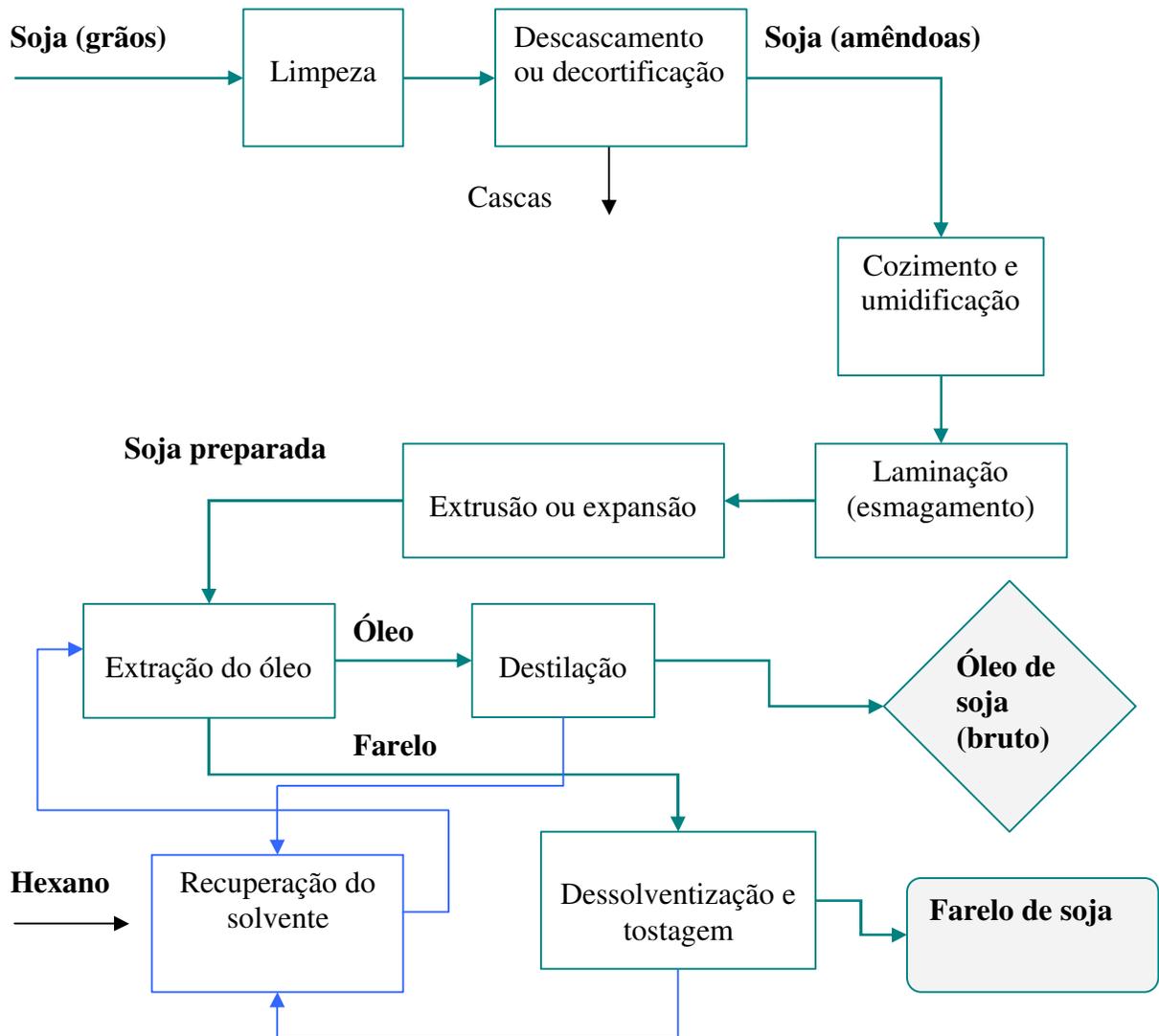


Figura 5.1. Fluxograma geral do processo de extração do óleo de soja.

No processo de **extração por prensagem**, utilizados em unidades industriais que processam quantidades inferiores a 1000 toneladas dia, de cada 1000 kg de soja são produzidos 808 kg de farelo e 132 kg de óleo bruto (PRONAF, 2007).

5.2.3 Degomagem ou deslecitinação do óleo

O processo de degomagem é realizado em algumas das plantas que produzem biodiesel a partir da soja. Existem unidades industriais que não realizam esta etapa.

Os triglicerídeos são os componentes de óleo que podem ser esterificados para a produção de biodiesel. Ácidos graxos livres são formas hidrolisadas de gorduras que não são convertidas a biodiesel pela transesterificação, e que devem ser removidos antes da produção do biocombustível. O rendimento mais importante neste processo é o de triglicerídeos, a partir dos quais se produz o biocombustível.

O processo de degomagem consiste em remover os fosfatídeos (gomas) e as matérias não saponificáveis do óleo, e é realizado através da adição de água quente sob agitação. As gomas se hidratam, tornam-se insolúveis no óleo, floculam, ficam inchadas e são separadas do óleo por diferença de densidade, através de centrífugas. Após evaporação da água sob vácuo, obtém-se a lecitina de soja, que tem a aparência de mel de abelhas. A lecitina pode ser refinada, mas é usada principalmente na forma crua, na indústria alimentícia. O óleo bruto de soja contém até 3% de lecitina de soja (ROHR, 1973).

5.2.4 Neutralização do óleo bruto

O óleo contido nas sementes é utilizado para a nutrição da planta durante a germinação, enquanto a mesma não possui raízes e folhas. Toda oleaginosa possui um reservatório de enzimas que transformam o óleo em substâncias digestíveis como os açúcares, para a nutrição da planta. Até o momento da germinação estas enzimas permanecem separadas do óleo. Quando a semente sofre atrito físico, quebra, há esmagamento ou a sua umidade se eleva, as enzimas são ativadas, gerando a acidez livre do óleo.

Como mencionado, no processo de degomagem os ácidos livres não são transformados em ésteres pela transesterificação e devem ser removidos. Em geral os ácidos graxos livres são neutralizados por soluções alcalinas de hidróxido de sódio, gerando sabões, que são separados em duas fases, pela sua menor densidade (ROHR, 1973). A Figura 5.2 mostra o fluxograma geral do processo de degomagem e neutralização do óleo de soja.

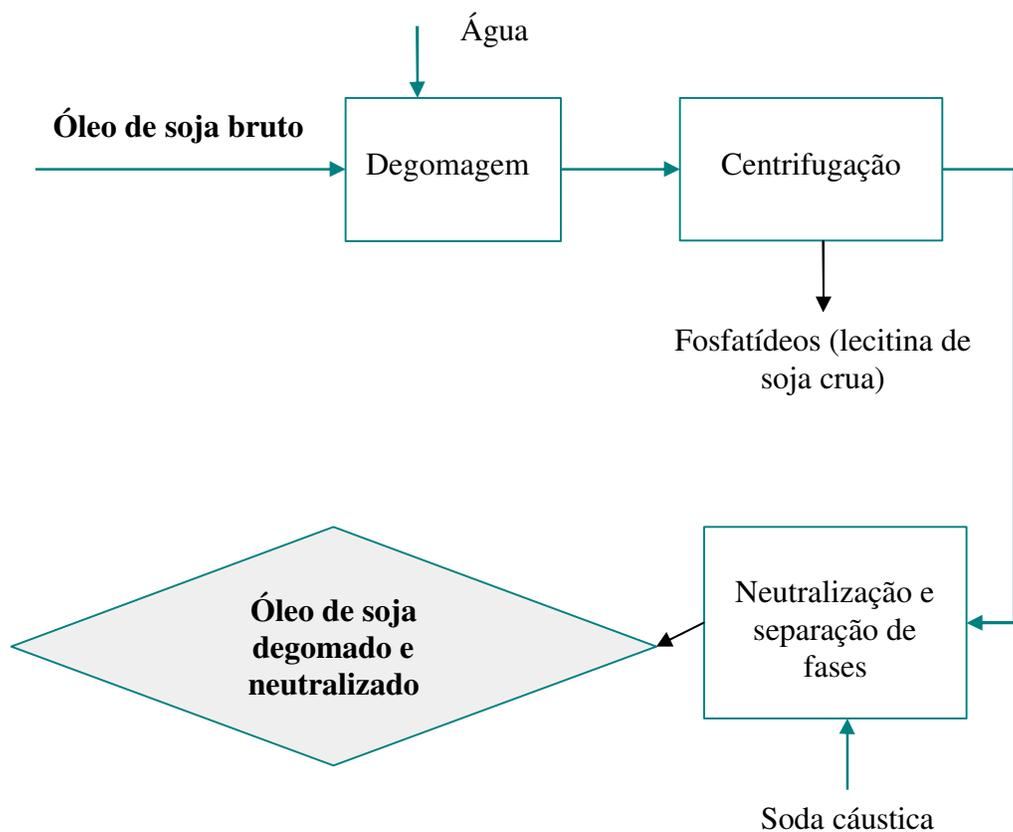


Figura 5.2. Fluxograma geral do processo de degomagem e neutralização do óleo de soja.

5.2.5 Coleta de dados

A etapa de esmagamento de soja e extração de óleo foi estimada a partir de estatísticas setoriais da ABIOVE, de empresa fabricante destes equipamentos e do estudo feito pelo National Renewable Energy Laboratory, nos EUA, publicado em 1998, como mostrado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Resumo dos principais insumos/produtos estimados para a produção do óleo de soja degomado a partir de 1 tonelada de grão de soja.

Parâmetro	Unidade	Entradas	Saídas
Grãos de soja secos (13% umidade)	kg	1000	
Óleo de soja degomado	kg		190 (a)
Farelo de soja	kg		771 (a)
Lecitina de soja	kg		3,8 (b)
Cascas	kg		34,3 (e)
Hexano	kg	0,7 (e)	
Água	kg	435 (d)	
Energia elétrica	MJ	250 (d)	
Óleo combustível	kg	51 (d, e)	
Hexano (perda)	kg		0,7 (c)
Óleos e graxas no efluente	kg		0,9 (d)
Efluente líquido	kg		426 (e)
Água evaporada	kg		9 (c)

(a) – ABIOVE, 2008 (média entre 2000 e 2007), (b) HAMMOND et al, 2005, (c) empresa fabricante de equipamento de extração, (d) SHEEHAN et al, 1998 (e) estimado por balanço de massa

5.3 A obtenção do biodiesel de soja

5.3.1 A conversão do óleo

A conversão do óleo bruto para a forma de éster é normalmente realizada para reduzir a viscosidade do óleo e eliminar problemas que surgem durante seu uso em motores a diesel.

Peterson e Jones (2002) fizeram uma revisão bibliográfica sobre o uso de óleos vegetais combustíveis em motores a diesel e verificaram que os óleos vegetais não modificados podem ser usados como substitutos do diesel em testes de desempenho de curta duração em praticamente qualquer porcentagem. Entretanto, quando avaliados em testes de desempenho de longa duração, em percentuais acima de 20%, causam danos ao motor ou problemas de manutenção. Resultados de testes de longa duração indicaram que potenciais danos como freamento dos anéis do pistão,

deposição de carvão nos injetores, falha no sistema combustível e contaminação do óleo lubrificante ocorreram quando os óleos vegetais não modificados foram usados como combustíveis alternativos.

O **craqueamento térmico, ou pirólise**, é uma das formas de se melhorar as propriedades dos óleos vegetais brutos. A pirólise é feita por meio do uso de calor, isto é, pelo aquecimento da substância, na ausência de ar ou oxigênio, à temperaturas superiores a 450 graus centígrados, em geral com o auxílio de catalisador para a quebra das ligações químicas, de modo a gerar moléculas menores. A pirólise de gorduras tem sido investigada há mais de 100 anos, especialmente em países com pequenas reservas de petróleo. Catalisadores típicos para serem empregados na pirólise são o óxido de silício - SiO_2 e o óxido de alumínio - Al_2O_3 . O equipamento para a realização da pirólise, ou craqueamento térmico, é caro. Contudo, os produtos finais são quimicamente similares ao óleo diesel. Pesquisadores da Universidade de Brasília - UnB têm desenvolvido pesquisas para transformação dos óleos vegetais em combustíveis semelhantes ao diesel para serem utilizados por comunidades afastadas de grandes centros (LIMA et al., 2004).

A **hidrogenação catalítica** do óleo, processo desenvolvido pela PETROBRÁS, é um processo alternativo de modificação do óleo bruto, através do qual óleo vegetal é transformado em hidrocarbonetos parafínicos lineares, similares aos existentes no óleo diesel de petróleo. O processo H-BIO foi desenvolvido de forma a aproveitar as instalações já existentes para o refino do petróleo. O óleo vegetal ou animal é misturado com frações de diesel de petróleo para ser hidroconvertido em Unidades de Hidrotratamento (HDT). Esses compostos contribuem para a melhoria da qualidade do óleo diesel final, com o aumento do número de cetano, que melhora a qualidade de ignição, e reduz a densidade e o teor de enxofre do diesel (PETROBRÁS, 2008).

A transesterificação não é a única forma para a produção de ésteres metílicos de ácidos graxos. Um método alternativo é hidrolisar completamente todos os triglicerídeos para ácidos graxos livres e, posteriormente, esterificar estes ácidos graxos com metanol. No Brasil e no mundo, entretanto, o principal método utilizado para a produção de combustíveis a partir de óleos vegetais é a transesterificação.

5.3.2 Transesterificação

Transesterificação é um termo genérico para descrever uma classe importante de reações orgânicas nas quais um éster é transformado em outro através da troca da porção alcóxi. Quando o éster original reage com um álcool, a transesterificação é chamada “alcoólise” (Figura 5.3). A transesterificação é uma reação de equilíbrio e ocorre pela simples mistura dos reagentes. Entretanto, a presença de catalisador (tipicamente fortemente ácido ou básico) acelera consideravelmente o ajuste do equilíbrio. Para obtenção de alto rendimento em éster é necessário que o álcool seja adicionado em excesso. Entretanto, uma quantidade excessiva de álcool, dificulta a separação do glicerol (SCHUCHARDT et al., 1998).

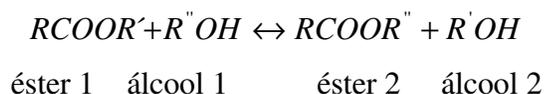


Figura 5.3. Equação geral de transesterificação

Os principais álcoois utilizados para a transesterificação são os álcoois etílico e metílico. A rota etílica é de grande interesse nacional, pois o etanol é produzido no país e é de origem renovável. Entretanto, a utilização do etanol torna o processo de separação da glicerina mais difícil, exigindo maiores custos para o processo de purificação do biodiesel. A rota metílica, entretanto, tem sido mais utilizada, pois permite melhor separação da glicerina. O metanol por outro lado é tóxico e necessita ser importado (SCHUCHARDT et al., 2006).

Na transesterificação de óleos vegetais, um triglicerídeo reage com um álcool na presença de ácido ou base forte, produzindo uma mistura de ésteres alquílicos e glicerol (Figura 5.4).

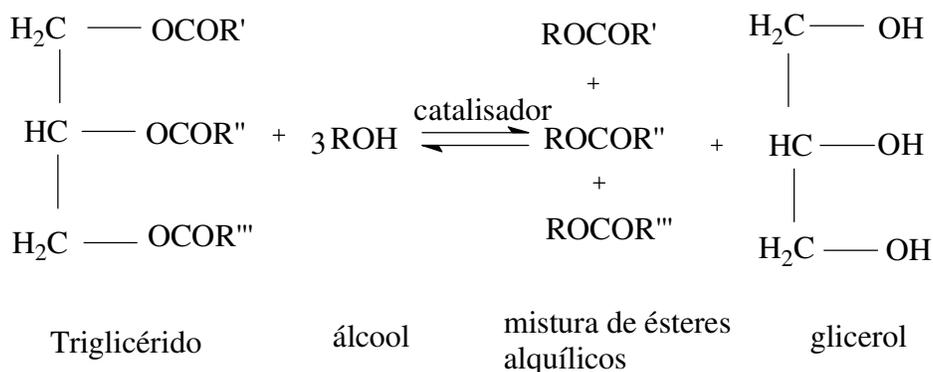


Figura 5.4. Transesterificação de óleos vegetais.

O processo total é uma seqüência de 3 reações consecutivas, com a formação de di e monoglicerídeos como intermediários. A reação estequiométrica requer 3 moles de álcool para cada mol de triglicérido. Entretanto, um excesso de álcool é necessário para deslocar o equilíbrio e aumentar a formação do éster, e também permitir a separação de fases entre os ésteres e o glicerol formado. Aspectos como o tipo de catalisador, a razão molar álcool/óleo vegetal, temperatura, pureza dos reagentes (principalmente conteúdo de água) e conteúdo de ácidos graxos livres afetam o andamento da reação.

Catálise ácida: O processo de transesterificação é catalisado por ácidos de Brønsted, principalmente pelos ácidos sulfônico e sulfúrico. São processos de alto rendimento, mas são reações lentas, que requerem aquecimento acima de 100°C e mais que 3 horas para completar a reação. O mecanismo da reação, esquematizado na Figura 5.5, mostra a protonação do grupo carbonila, seguida pela reação de carbocação (II) que, após um ataque nucleofílico do álcool, produz o tetraedro intermediário (III), o qual elimina glicerol para formar um novo éster (IV) e regenera o catalisador H⁺. De acordo com este mecanismo, os ácidos carboxílicos podem ser formados pela reação de carbocação (II) com água presente na reação. Isto sugere que a transesterificação catalisada por ácido deva ser conduzida na ausência de água, para evitar a formação competitiva de ácidos carboxílicos que reduz o rendimento em ésteres alquílicos.

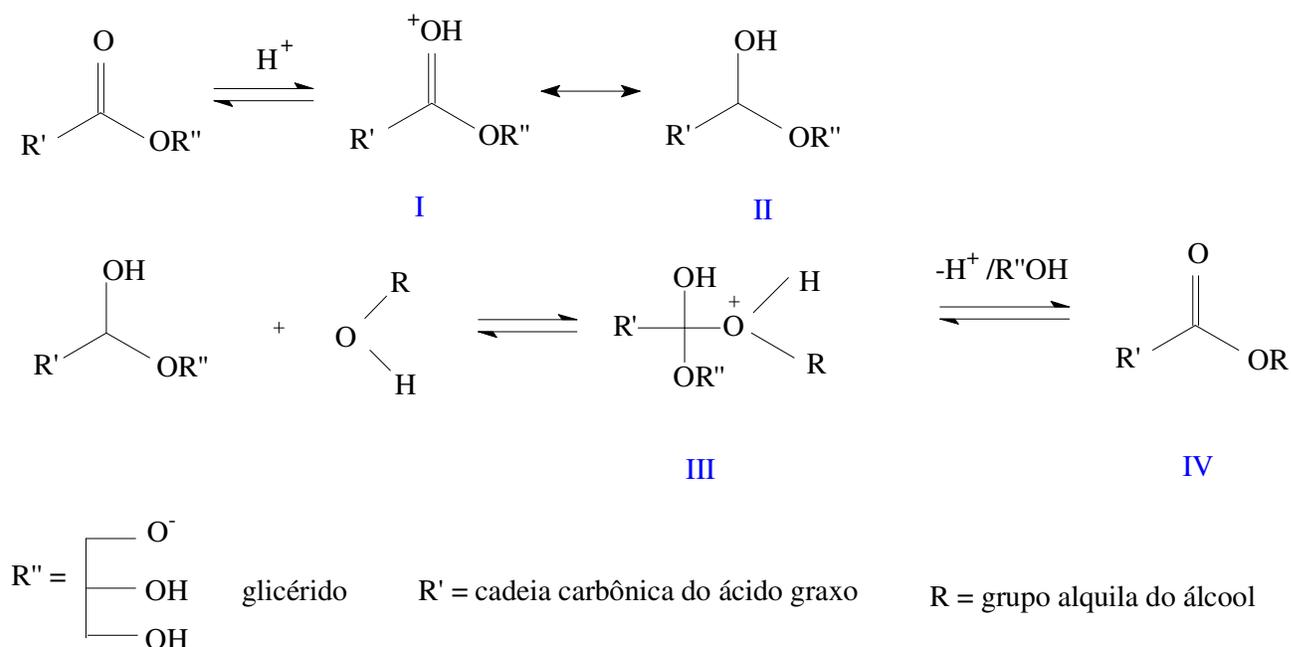


Figura 5.5. Mecanismo de transesterificação por catálise ácida.

(SCHUCHARDT *et al.*, 1998).

Catálise básica: A transesterificação dos óleos vegetais por catálise básica é mais rápida do que a ácida. Por esta razão, associada ao fato de que os produtos ácidos são mais corrosivos que os básicos, os processos industriais, em geral, utilizam a catálise básica através do uso de alcóxidos de metais alcalinos e hidróxidos, bem como os carbonatos de sódio ou potássio.

O mecanismo geral da transesterificação por catálise básica é mostrado na Figura 5.6. Na primeira etapa, a base reage com o álcool, produzindo um alcóxido e um catalisador protonado (equação 1). O ataque nucleofílico do alcóxido ao grupo carbonílico do triglicerídeo gera um intermediário tetraédrico (equação 2), a partir do qual o éster alquílico e o correspondente ânion do diglicerídeo são formados (equação 3). O ânion deprotona o catalisador, regenerando as espécies ativas (equação 4), as quais são agora capazes de reagir com uma segunda molécula do álcool, iniciando novo ciclo catalítico.

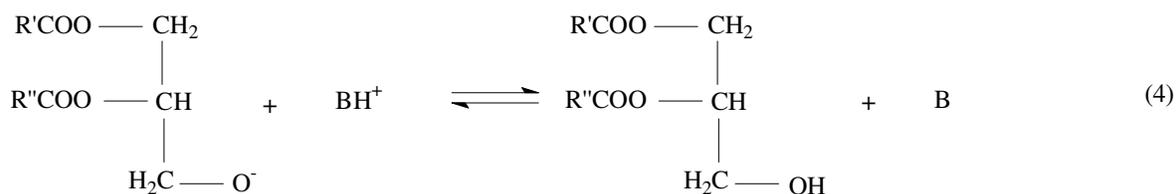
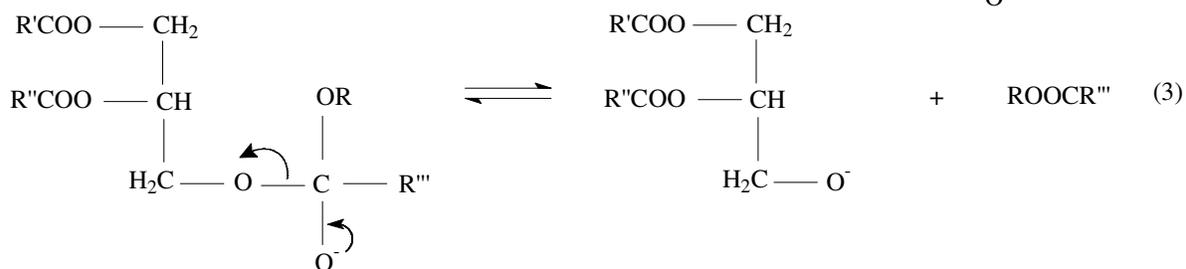
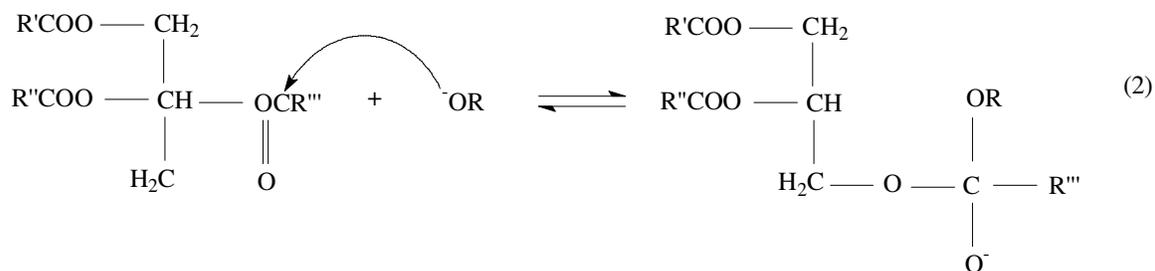
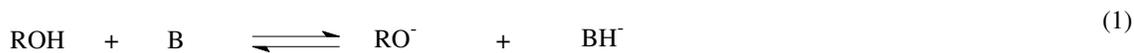


Figura 5.6. Mecanismo de transesterificação por catálise básica

(SCHUCHARDT *et al.*, 1998).

Alcóxidos de metais alcalinos, como o CH_3ONa , para a metanólise, estão entre os catalisadores mais ativos, uma vez que produzem altos rendimentos (98%) em pequenos intervalos de tempo (30 min), mesmo que eles sejam aplicados em baixas relações molares (0,5% molar). Entretanto, eles requerem ausência de água, o que restringe seu uso em algumas aplicações industriais. Hidróxidos de metais alcalinos (KOH e NaOH) são mais baratos que os alcóxidos de metais, mas são menos efetivos. De qualquer forma, eles se constituem boas alternativas uma vez que altos rendimentos podem ser alcançados pela elevação de sua concentração molar em uma a duas vezes. Entretanto, mesmo que uma mistura de óleo/álcool livre de água seja usada, água é produzida no meio pela reação do hidróxido com o álcool. A presença de água eleva a hidrólise do éster com a conseqüente formação de sabões. Esta reação de saponificação indesejável reduz o rendimento em éster e dificulta consideravelmente a

recuperação do glicerol devido à formação de emulsões. Carbonato de potássio, usado na concentração de 2 a 3 mol% produz alto rendimento e reduz a formação de sabões. A Figura 5.7 exemplifica o processo de transesterificação por catálise básica que tem sido tradicionalmente utilizada para a produção do biocombustível.

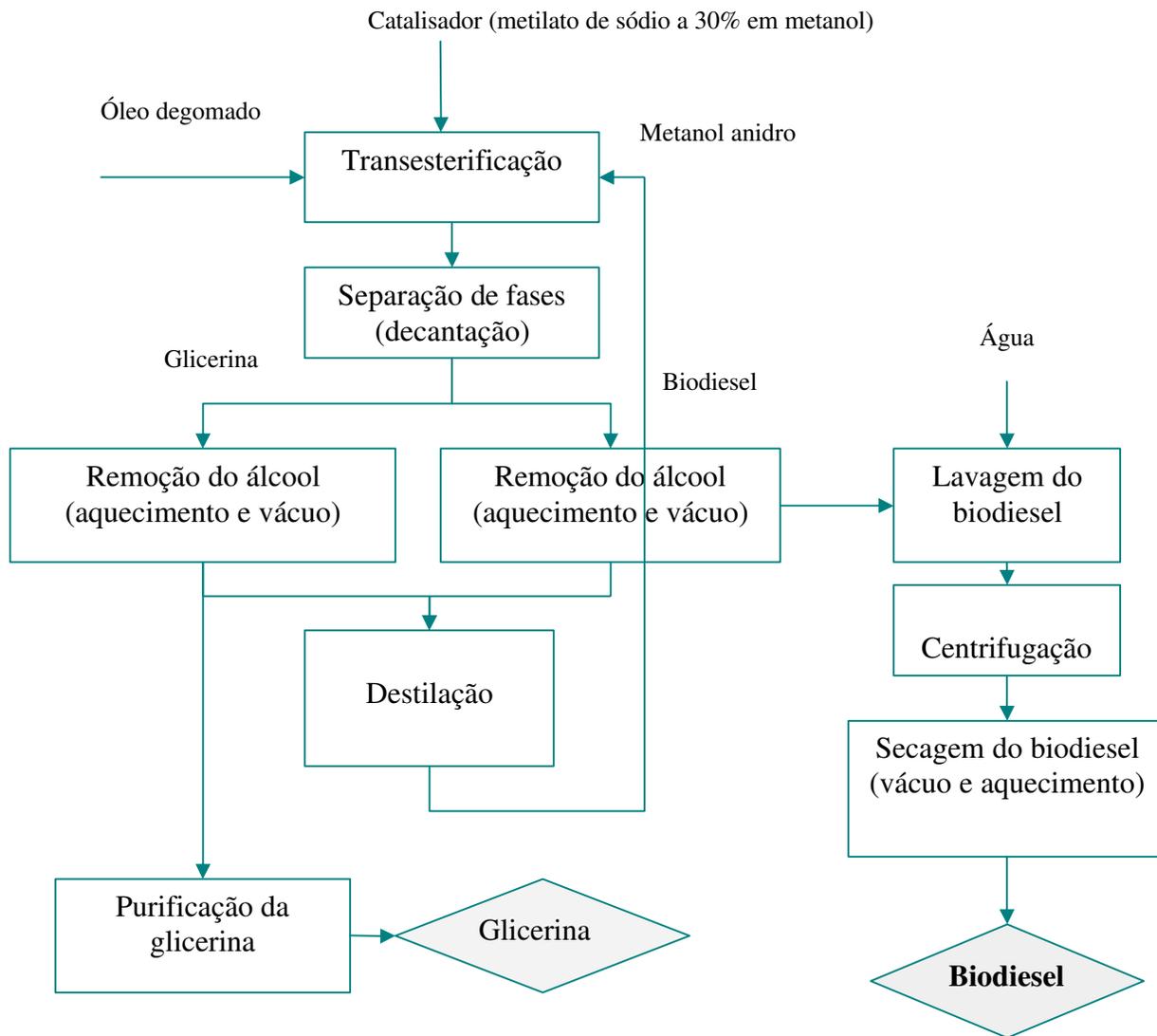


Figura 5.7. Fluxograma do processo de transesterificação por catálise básica.

5.3.3 Coleta de dados

Os dados de insumos e produtos correspondentes ao processo de transesterificação do óleo de soja foram fornecidos por uma das empresas produtoras, responsável pela produção de mais de 25% do biodiesel comercializado no país.

A Tabela 5.5 sumariza os principais insumos/produtos para a transesterificação do óleo de soja degomado pela rota metílica.

Tabela 5.5. Resumo dos principais insumos/produtos para a transesterificação do óleo de soja degomado pela rota metílica, para a produção de 1 tonelada do éster metílico de soja.

Parâmetro	Unidade	Entradas	Saídas
Óleo de soja degomado	kg	1080	
Ésteres metílicos do óleo de soja	kg		1000
Metanol anidro	kg	140	
Água	kg	490	
Metilato de sódio (30% em metanol)	kg	16,5	
Glicerina (80% de glicerol)	kg		113
Sabões/ácidos graxos	kg		23,5
Auxiliares de processo	kg	1,245	
Energia elétrica	MJ	163	
Óleo combustível	kg	1,5	
Lenha	kg	430	
Efluente	kg		590

5.4 Inventário final dos principais insumos e produtos

Através da coleta de dados realizada, incluindo-se:

- a média ponderada das cinco fazendas amostradas relativas à safra de 2006/2007,
- os dados de secagem de uma das fazendas,
- os dados de extração do óleo de empresa fabricante de equipamentos,
- os dados de uma empresa produtora de biodiesel de soja,

foram calculados os principais insumos/produtos da cadeia do cultivo do grão aos ésteres, resumidos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. Resumo dos principais insumos/produtos das etapas do cultivo agrícola, esmagamento, extração do óleo e transesterificação para produzir 1 tonelada de ésteres metílicos do óleo de soja.

Parâmetro	Quantidade (kg/t de biodiesel)	
	Insumo	Produto
Diesel (kg)*	126,3	
Fertilizantes (kg)	487,7	
Defensivos (4% de ativos) (kg)	10,8	
Sementes (kg)	154,7	
Hexano (kg)	4,0	
Água (kg)	2951	
Hexano (perda)		4,0
Água evaporada (kg)		1126
Efluente líquido (kg)		2996
Farelo de soja (kg)		4362
Lecitina de soja (kg)		21,5
Cascas (kg)		194,1
Metanol anidro (kg)	140,8	
Metilato de sódio (30%) (kg)	16,5	
Glicerina (80% de glicerol) (kg)		112,7
Sabões/ácidos graxos (kg)		23,5
Ésteres metílicos do óleo de soja (kg)		1000
Energia elétrica (MJ)	1821,2	
Óleo combustível (kg)	290,1	
Lenha (kg)	473,6	

(*) consumo de diesel devido ao uso dos equipamentos agrícolas e transporte de insumos até as fazendas.

5.5 Etapas de transporte na cadeia de produção do biodiesel de soja

A soja é plantada por todo o país em 1880 municípios distribuídos nas 5 regiões geográficas, embora a grande produção esteja concentrada nas regiões Centro-Oeste (49,4%) e Sul (33,8%) (Ano base 2006, IBGE, 2008).

As usinas de biodiesel, que processam diferentes matérias-primas, também estão distribuídas pelas 5 regiões geográficas (Tabela 5.7), próximas à origem de suas matérias-primas. Segundo a ANP, a produção de biodiesel considerando todas as fontes de matérias-primas no ano de 2007 foi de 399.243 m³ e teve a seguinte distribuição por região geográfica no Brasil:

Tabela 5.7. Produção e capacidade de produção de biodiesel por região geográfica.

Região Geográfica	Produção de biodiesel (%)	Capacidade de produção (%)
Centro-Oeste	30,9	26,0
Sul	10,7	22,2
Sudeste	9,0	23,3
Norte	6,7	5,9
Nordeste	42,7	22,7

(produção de biodiesel em 2007- ANP, 2008 e capacidade de produção: www.biodieselbr.com, 2008)

É interessante notar que parte significativa da produção de biodiesel, segundo a ANP, está concentrada na região Nordeste (42,7%). Entretanto, estes dados não coincidem com a capacidade instalada de produção na região (22,7%). Esta região também não é uma tradicional região produtora de soja. Por outro lado, a região Nordeste pouco com a predominância, região onde existem os maiores incentivos fiscais.

Até maio de 2008 existiam 53 unidades produtoras de biodiesel com capacidade autorizada para a produção de biocombustíveis (ANP, 2008). Devido à disponibilidade de matéria-prima em todo o país, as usinas que estão sendo construídas são na maior parte integradas, ou seja, partem da fonte oleaginosa, separam o óleo e posteriormente o transesterificam, numa mesma unidade produtiva (Figura 5.8).

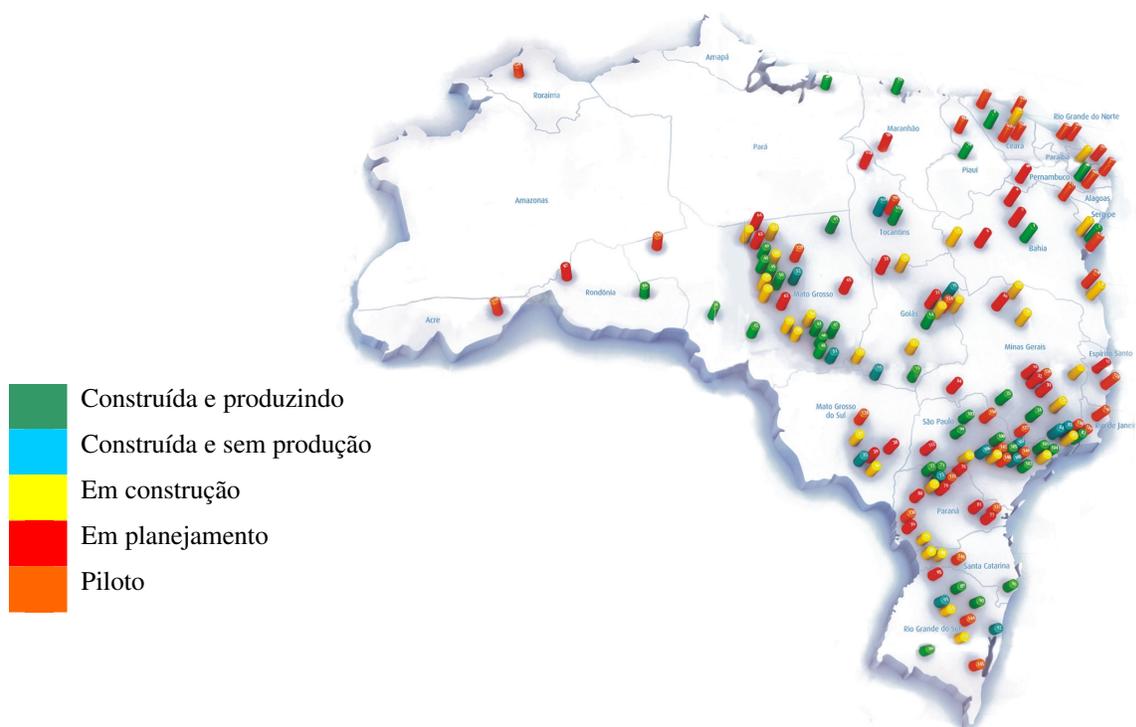


Figura 5.8. Localização das usinas de biodiesel no Brasil (1º semestre 2008).

Fonte: www.biodieselbr.com

Para a estimativa da distância média entre as fazendas de soja e as usinas, conseguiu-se dados da logística de 2 empresas localizadas nos estados de Mato Grosso e Goiás, que juntas somam 25% da atual produção de biodiesel no país. Assim, a distância média entre as fazendas produtoras e as usinas produtoras de biodiesel de soja, calculada através da ponderação da produção destas 2 usinas, foi de **280 km**, sendo o transporte rodoviário realizado por caminhões com carga superior a 15 toneladas.

Além desta distância, já foram consideradas as distâncias envolvidas na entrega dos insumos agrícolas e uma pequena distância de 20 km entre as fazendas produtoras e o local de secagem dos grãos de soja. Considerando o transporte dos grãos das fazendas até as plantas de biodiesel, o consumo total de **diesel passa a ser de 591 kg/t** de biodiesel.

As principais empresas produtoras de biodiesel a partir de soja são a Agrosoja (Sorriso/MT), ADM - Archer Daniels Midland Company (Rondonópolis/MT), Barrálcool (Barra do Bugres/MT), Brasil Biodiesel (São Luis/MA), Bsbios (Passo Fundo/RS), Caramuru (São Simão/GO), Granol (Anápolis/GO e Campinas/SP).

Capítulo 6

Balanco energético da cadeia produtiva do biodiesel a partir da soja

6.1 Modelagem utilizada para a determinação do balanço energético

O balanço energético de um sistema mostra a relação da energia produzida em relação à energia consumida para a obtenção de um determinado produto.

Nesta tese o balanço energético foi calculado usando-se os dois principais parâmetros considerados para a sua determinação, descritos na seção 4.2.1:

$$\text{Eficiência energética de ciclo de vida} = \frac{\text{energia do combustível}}{\text{somatória da energia primária de todos os insumos}}$$

$$\text{Razão de energia fóssil} = \frac{\text{energia do combustível}}{\text{somatória da energia primária apenas dos insumos fósseis}}$$

Para a estimativa da contribuição energética dos insumos/produtos, utilizou-se o poder calorífico inferior e o consumo energético para a obtenção dos mesmos, a partir de várias referências. Os valores encontrados foram citados na sua unidade de origem e foram posteriormente convertidos para o Sistema Internacional de medidas, em MJ/kg. Devido à falta de banco de dados nacionais foram utilizadas demandas de energia de diversos estudos encontrados na bibliografia científica.

No Brasil, o fornecimento de *energia elétrica* é feito por meio de um grande e complexo sistema de usinas geradoras, que podem ser hidrelétricas, termelétricas ou nucleares, subestações

e linhas de transmissão interligadas. Em 2006, a produção de eletricidade foi de 419 GWh, sendo que 83% foram produzidos em hidrelétricas, sendo o restante produzidos por termelétricas e usinas nucleares (BEN, 2007). A contribuição da energia elétrica de 1,584 GJ de energia primária por GJ de energia usada foi baseada em estudo de ciclo de vida conduzido no Brasil (COLTRO et al., 2003). Embora nestes últimos anos este valor deva ter sido reduzido pela redução das perdas na transmissão, preferiu-se usá-lo como estimativa mais conservadora. Aplicou-se o fator de 83% para estimativa da energia renovável proveniente da energia elétrica.

O *diesel* é o combustível de quase todos os equipamentos agrícolas utilizados para o preparo do solo, como as operações de gradagem, subsolagem, pulverização dos defensivos agrícolas, colheita e, também, é o combustível utilizado no transporte rodoviário dos grãos entre as fazendas, as empresas que realizam o esmagamento e extração dos grãos e a posterior conversão em ésteres. O seu poder calorífico inferior é de 10.100 kcal/kg ou, em unidades SI, 42,29 MJ/kg (BEN, 2007). A sua contribuição energética de 50,7 MJ/kg foi baseada no estudo de ciclo de vida realizado para diesel nos EUA (SHEEHAN et al., 1998). A participação de energia elétrica neste estudo é de 11%, usada principalmente nos processos de extração, bombeamento e transporte. Usando esta participação e a porcentagem de 83% de energia renovável da matriz de eletricidade brasileira, considerou-se para o diesel o fator de 9% de energia renovável ou 91% de energia oriunda de fonte fóssil.

O *óleo combustível* é utilizado na geração de vapor usado nos processos de esmagamento/extração do óleo e no processo de transesterificação do óleo. Para a geração de vapor, outros combustíveis podem ser usados, como sebo e outras gorduras animais, lenha, carvão, etc. A composição dos tipos de combustíveis utilizados em cada fábrica depende, além do equipamento disponível, da disponibilidade sazonal local e do preço variável de cada combustível. O seu poder calorífico inferior é de 9.590 kcal/kg, ou 40,15 MJ/kg (BEN, 2007). A contribuição energética de 47,8 MJ/kg foi baseada no estudo de ciclo de vida realizado para diesel nos EUA (SHEEHAN et al., 1998) e foi considerada como sendo de origem totalmente não renovável. Adotou-se o mesmo fator de 9% do diesel para a estimativa da participação de energia renovável.

A *lenha* é utilizada também na geração de vapor, como o óleo combustível, mas tem um poder calorífico 3 vezes inferior ao óleo combustível: 3100 kcal/kg, ou seja, 12,98 MJ/kg (BEN, 2007). Grande parte da lenha utilizada em processos industriais é de madeira de eucalipto,

principal representante do reflorestamento praticado no Brasil. A quantidade de adubos/herbicidas/formicidas necessária à produção de eucalipto é praticamente desprezível em relação à massa obtida do mesmo, inferior a 0,001% da massa de eucalipto produzida. Assim os maiores gastos energéticos ocorrem durante as operações de corte, carregamento e transporte rodoviário. Estudo realizado na região sudeste do Brasil, para uma distância de transporte médio de 120 km contabilizou um consumo de 103 MJ/m³ (OLIVEIRA J. e SEIXAS, 2006). Considerando-se a densidade média da lenha comercial como de 390 kg/m³ (BEN, 2007), o gasto devido à colheita e transporte seria de 0,26 MJ/kg. Assim, considerou-se como contribuição energética da lenha o valor de 13,24 MJ/kg com 98% oriundo de fonte renovável.

Os *fertilizantes* são em geral sais inorgânicos fornecedores dos nutrientes que as plantas necessitam para o seu crescimento, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). As porcentagens N, P e K aplicadas são normalmente formuladas para suprir as necessidades da cultura praticada e para o tipo de solo utilizado. Utilizou-se a relação NPK de 0-20-20, segundo recomendações da Embrapa Soja para a região central do Brasil (EMBRAPA SOJA, 2007) e a contribuição energética de 6,17 MJ/kg para esta formulação, utilizando-se os fatores energéticos do plantio de soja nos EUA (PIMENTEL e PATZEK, 2005).

Os *defensivos agrícolas* são utilizados principalmente contra a lagarta da soja e o percevejo verde, e também para o controle de plantas. Utilizou-se a contribuição energética de 263,7 MJ/kg utilizada para o plantio da soja nos EUA (SHEEHAN et al., 1998).

O *metanol* é o álcool utilizado para a transesterificação do óleo de soja e obtenção dos ésteres metílicos de soja. A sua contribuição energética de 39,29 MJ/kg foi baseada no estudo realizado nos EUA (SHEEHAN et al., 1998).

O *hexano* é o solvente utilizado para a extração do óleo de soja. A sua contribuição energética de 44,5 MJ/kg foi utilizada baseando-se no estudo realizado nos EUA (SHEEHAN et al., 1998).

Devido à falta de banco de dados nacionais usou-se uma abordagem simplificada para a estimativa da participação da energia fóssil contida nos fertilizantes, defensivos, no hexano e no metanol. O setor industrial químico brasileiro consumiu 308 TJ em energia no ano de 2006, dos quais 73,5% foram provenientes de fontes fósseis. Assim, aplicou-se este fator para estimativa do conteúdo fóssil destes insumos (BEN, 2007).

A contribuição energética das *sementes* foi estimada como sendo 150% da energia necessária para o plantio e secagem da soja levantada neste estudo. As sementes requerem mais energia que os grãos colhidos, pois devem atender requisitos de qualidade mais rigorosos que os grãos normais, além dos custos adicionais para armazenamento, transporte e embalagem. Através do balanço realizado, a energia total para a produção da soja seca foi de 2,01 MJ/kg. Assim, atribuiu-se o valor de 3,01 MJ/kg de semente. O fator de 150% também foi utilizado no estudo realizado por SHEEHAN e colaboradores. Usando os conteúdos de energia fóssil considerados para fertilizante, defensivo, agroquímico, diesel, energia elétrica e lenha, usados no plantio e na secagem da soja, chegou-se à participação de 78% de energia oriunda de fonte fóssil.

A *água* da rede pública tratada é em sua maior parte utilizada nos processos de extração do óleo e de lavagem do biodiesel. Foram utilizados dados de consumo energético médio no ano de 2005 da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo em sua rede incluindo os gastos com captação, adução, reservação, distribuição, coleta e tratamento de esgoto e lançamento de efluentes. O consumo energético foi calculado como sendo de 2,647 MJ/t de água tratada. (HAGUIUDA e VENEZIANI, 2006).

O *farelo de soja* é produzido no mesmo processo de esmagamento e extração do óleo de soja. A sua contribuição energética foi calculada em função de seu poder calorífico superior medido em bomba calorimétrica, de 4204 kcal/kg de farelo, e tomou-se a energia digestível como estimativa do poder calorífico inferior como sendo de 3583 kcal/kg, ou seja, 15,0 MJ/kg (MENDES et al, 2004).

As *cascas da soja* são retiradas no processo de decortificação por possuírem menor teor de proteína e maior teor de fibras que o farelo. Sua contribuição energética foi baseada no seu poder calorífico inferior de 3300 kcal/kg, ou seja, 13,8 MJ/kg (FOS ENGINEERING, 2008).

A *glicerina* é um co-produto da transesterificação do óleo de soja. Como a glicerina produzida contém sabões, sais inorgânicos e traços do próprio biodiesel, além de resíduos orgânicos, o poder calorífico da glicerina bruta encontrado em arranjo experimental foi de 25,3 MJ/kg (TRIGO et al, 2007). Optou-se em usar o poder calorífico inferior da glicerina pura de 16,2 MJ/kg, uma vez que a mesma pode ser purificada.

Os *ésteres metílicos de soja* formam o biodiesel de soja propriamente dito. Um poder calorífico inferior médio de 3 estudos foi adotado como sendo de 15887 Btu/lb (SHEEHAN et al., 1998), ou seja, 36,95 MJ/kg.

Para cálculo do gasto energético devido ao transporte entre os diversos elos da cadeia produtiva, foram utilizados dados de consumo de combustível de estudo realizado no Canadá (Tabela 7.1), com mais de 18,6 milhões de caminhões no ano de 2005. O estudo mostrou as seguintes características:

Tabela 6.1. Consumo de diesel por tipo de caminhão no Canadá.

Tipo de caminhão	Consumo de diesel (L/100km)
Leve (até 4,5 t)	11,4
Médio (de 4,5 até 15,0 t)	26,6
Pesado (igual ou maior de 15,0 t)	35,1

(Fonte: *Natural Research Canada, 2007 Ano de referência 2005*)

6.2 Balanço energético para a produção de biodiesel de soja

O balanço energético tem sido expresso de diferentes formas na bibliografia científica. Assim, calculou-se os diversos parâmetros relativos ao balanço a partir do inventário final mostrado na Tabela 5.6 e das contribuições energéticas descritas na seção 6.1. Alguns estudos contabilizam as contribuições energéticas de todos os insumos e todos os produtos. Outros, apenas a contribuição do combustível principal. Estes valores foram calculados e são mostrados na Tabela 6.2.

A análise dos dados da Tabela 6.2 mostra que quando se considera a energia contida no farelo, nas cascas, na glicerina e no biodiesel de soja, o balanço energético é favorável: para cada unidade de energia total consumida, gera-se 1,7 unidades de energia em biodiesel e para cada unidade de energia fóssil consumida, gera-se 2,2 unidades de energia renovável em biodiesel.

Tabela 6.2. Balanço energético da cadeia de biodiesel.

Parâmetro	Valor
Considerando contribuição energética dos co-produtos	
Balanço (Output / Input total)	1,70
Fator de renovabilidade (Output / Input fóssil)	2,23
Considerando contribuição energética apenas do biodiesel	
Balanço (Output / Input total)	0,58
Fator de renovabilidade (Output / Input fóssil)	0,77
Consumo de energia total (MJ / t de biodiesel)	63.248
Energia fóssil (MJ / t de biodiesel)	48.060

O balanço energético considerando-se somente o conteúdo energético do biodiesel, entretanto, é desfavorável, uma vez que é menor do que 1, e neste caso, para cada unidade de energia total consumida, produz-se apenas 0,6 unidades de energia renovável.

Neste balanço não foram consideradas as contribuições energéticas do catalisador metilato de sódio, da lecitina produzida em alguns processos e dos sabões gerados no processo de transesterificação, componentes que individualmente são inferiores a 2,5% da massa total de ésteres metílicos produzidos, e que, em função das faixas prováveis de poder calorífico, não alterariam o balanço final obtido.

6.3 Balanço energético com alocação por massa dos insumos para o óleo

A produção de biodiesel a partir da soja deve ser entendida dentro da sua cadeia produtiva. O farelo, a glicerina e as cascas não são usados essencialmente como combustíveis. O farelo, por exemplo, é usado na alimentação de animais e deve ser avaliado sob outros aspectos, que não apenas o energético.

Como mostrado no Capítulo 7, o farelo e o óleo são os principais produtos da cadeia de soja e a glicerina é um co-produto da transesterificação. Assim, uma prática em estudos de ACV é a divisão dos insumos proporcionalmente às quantidades geradas de cada produto.

O balanço incluindo a alocação por massa também foi considerado no estudo coordenado por Sheehan. Neste caso, o óleo de soja representa 18% em massa dos produtos no processo de esmagamento e extração de óleo e pode-se então associar ao mesmo apenas 18% dos insumos usados, num processo conhecido como alocação. Ao farelo de soja são associados os 82% restantes dos insumos usados. A glicerina representa, em massa, 10% dos produtos gerados na transesterificação. Entretanto, devido ao seu baixo valor comercial e pequena absorção no mercado atual, não se considerou alocação parcial dos insumos para a sua produção. Os resultados do balanço incluindo a alocação por massa estão mostrados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3. Balanço energético da cadeia de biodiesel considerando a alocação de 18% dos insumos para a obtenção do óleo.

Parâmetro	Valor
Balanço (Output / Input total)	1,77
Fator de renovabilidade (Output / Input fóssil)	3,04
Consumo de energia total (MJ / t de biodiesel)	20.834
Consumo de energia fóssil (MJ / t de biodiesel)	12.149

A alocação dos insumos em função dos produtos obtidos é uma forma mais correta de divisão dos custos, uma vez que ambos são produtos da cadeia produtiva. Além disso, o farelo não é um combustível propriamente dito para ser contabilizado no balanço energético. Por outro lado, não é possível produzir somente o óleo, sem produzir o farelo e por isso a alocação deve ser interpretada com critério.

Estes valores mostram que para cada unidade de energia fóssil consumida, são produzidas 3,0 unidades de energia renovável em biodiesel de soja.

A Figura 6.1 mostra que as etapas de transporte têm o maior consumo energético (36,0%), seguidas pela transesterificação (35,1%), extração do óleo (19,4%), e cultivo (9,4%). O consumo de energia fóssil na etapa de secagem é praticamente nulo (0,1%).

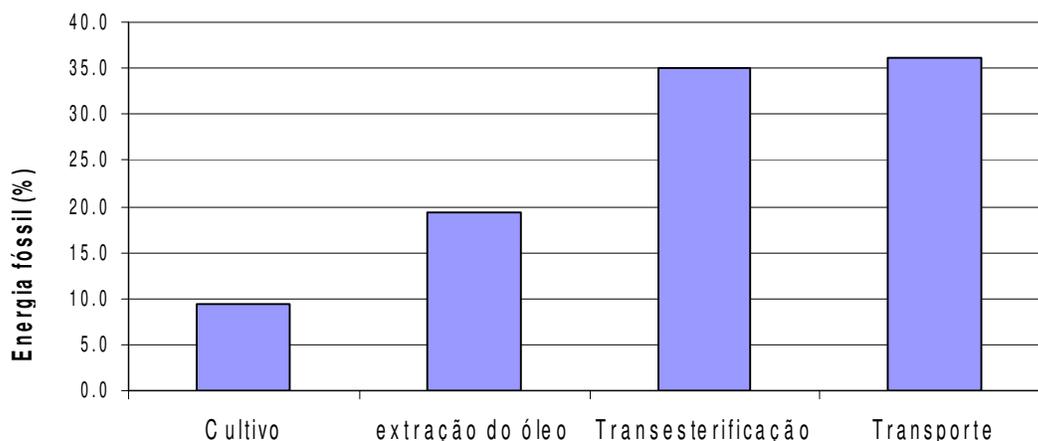


Figura 6.1. Consumo de energia fóssil nas diversas etapas da cadeia produtiva do biodiesel.

Nos cálculos até agora apresentados, não se considerou a distância entre as empresas produtoras do biocombustível e os locais de mistura do biodiesel com o diesel, nem o posterior transporte até os postos de distribuição. A logística real de transporte do biocombustível é extremamente complexa. A BR distribuidora opera com transporte rodoviário, fluvial, ferroviário, bases de distribuição e depósitos em aeroportos (SANT`ANNA, 2006).

6.3.1 Análise de sensibilidade do balanço energético

O balanço energético é dependente de diversos parâmetros, como mostrado até o momento. Desta forma, é importante entender como as variações dos diversos parâmetros considerados podem afetá-lo. Entendendo que o balanço realizado com a alocação de 18% em massa de todos os insumos utilizados até a produção de óleo de soja seja o mais correto, a análise de sensibilidade foi conduzida para este balanço.

Assim, foram realizadas simulações com variação superior e inferior dos parâmetros em 25 e 50% em relação ao valor médio considerado, mostrados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4. Análise de sensibilidade do balanço energético.

Parâmetro	Valor médio	Variação no valor médio do parâmetro (%)				
		-50	-25	0	+25	+50
		Fator de renovabilidade				
Fertilizantes (kg / t de soja)	72,4	3,09	3,07	3,04	3,02	2,99
Defensivos (kg / t de soja)	1,6	3,06	3,05	3,04	3,03	3,02
Produtividade (kg de soja / hectare)	3228	2,78	2,95	3,04	3,10	3,14
Energia elétrica gasta na extração (MJ/ t de soja)	250	3,05	3,05	3,04	3,04	3,03
Óleo combustível na extração (kg / t de soja)	51	3,35	3,19	3,04	2,91	2,78
Energia elétrica gasta na transesterificação (MJ / t de biodiesel)	163	3,05	3,04	3,04	3,04	3,04
Distância das fazendas até plantas de biodiesel (km)	280	3,62	3,31	3,04	2,82	2,62
Consumo de diesel por caminhão pesado (litros/100km)	35,1	3,62	3,31	3,04	2,82	2,62

A análise de sensibilidade mostra que a distância de transporte, bem como o consumo de diesel de caminhão pesado são os fatores que têm maior influência sobre o fator de renovabilidade.

O uso de combustível fóssil como o óleo combustível nos processos industriais vem sendo reduzido ao longo dos anos e por ser de origem predominantemente não renovável, também afeta o fator de renovabilidade. Sua utilização em caldeiras pode muitas vezes ser substituída por combustíveis renováveis como lenha.

A variação na produtividade da soja entre 1614 (-50%) e 4842 (+50%) kg / hectare afeta também o balanço energético, mas em proporções menores que os parâmetros anteriores. Na safra de 2006/07 a menor produtividade da soja, registrada para o estado do Piauí foi de 2180 kg/hectare (APROSOJA, 2008), o que resultaria num fator de renovabilidade de 2,91. Entre as maiores produtividades de soja já registradas, destaca-se a da fazenda Marabá, em Cuiabá, que

registrou o recorde de 4020 kg/hectare na safra de 2003 (SECOM, 2003). Com esta produtividade o fator de renovabilidade ficaria em 3,10. A variação destes parâmetros individualmente gera fatores de renovabilidade que ficam entre 2,6 e 3,6.

A combinação de parâmetros favoráveis como produtividade de soja de 4000 kg /hectare com redução de 25% no valor médio dos fertilizantes, defensivos, na energia elétrica, no óleo combustível e no consumo de diesel por caminhão pesado resultaria num fator de renovabilidade de 3,6.

6.4 Balanço energético com alocação por massa incluindo a glicerina

Nesta abordagem, de forma semelhante à alocação por massa já utilizada entre óleo / farelo, como mostrado na seção 6.3, dividiu-se os insumos do processo de transesterificação proporcionalmente as massas de éster e glicerina formada. Assim, considerou-se nesta abordagem a alocação de 90% dos insumos como necessários à produção de biodiesel e o restante foi atribuído à produção de glicerina. Esta abordagem foi usada no estudo coordenado por Sheehan, mas é calculada aqui apenas para efeito de comparação (Tabela 6.5). Neste trabalho, o resultado do balanço a ser considerado é o mostrado na seção 6.3.

Tabela 6.5. Balanço energético da cadeia de biodiesel considerando 18% dos insumos para a obtenção do óleo e 90% dos insumos da transesterificação para a obtenção do biodiesel.

Parâmetro	Valor
Balanço (Output / Input total)	1,9
Fator de renovabilidade (Output / Input fóssil)	3,2
Consumo de energia total (MJ / t de biodiesel)	19.682
Consumo de energia fóssil (MJ / t de biodiesel)	11.722

A alocação parcial por massa entre o biodiesel e a glicerina não foi considerada nos cálculos desenvolvidos na seção 7.3, pois a mesma não é plenamente absorvida pelo mercado, tem valor comercial bem inferior ao biodiesel e, nos dias atuais, a sua destinação é problemática.

Como esta situação pode vir a mudar, uma vez que vários investimentos têm sido feitos para valorização da glicerina, estes cálculos foram aqui incluídos.

6.5 Balanço energético com alocação econômica farelo & óleo e entre biodiesel & glicerina

Quando se divide os custos de processos entre dois ou mais co-produtos de uma cadeia, a alocação econômica tem sido muitas vezes preferida, pois além das proporções de massa existentes, considera-se o valor econômico de cada co-produto.

Utilizando-se a relação entre os preços no Porto de Paranaguá entre óleo bruto de soja (US\$ 788 / t) e farelo de soja (US\$ 259 / t), relativos ao ano de 2007 mostrados nos dados estatísticos da ABIOVE, tem-se que o preço médio do óleo foi 3 vezes superior ao do farelo no ano de 2007. Combinando-se a fração em massa com o valor relativo dos dois produtos, tem-se um fator de alocação econômico dos insumos de 40% para o óleo.

Considerando-se o preço médio do biodiesel estabelecido no 9º leilão de abril de 2008 por R\$ 2,7/litro (ANP, 2008) , equivalente a R\$ 3,07/kg e US\$ 1,82/ kg e da glicerina bruta para o mesmo período, de US\$ 0,54/kg (MDIC, 2008), tem-se uma relação de preço biodiesel / glicerina de 3,37. Combinando-se esta relação com a fração de 90% em massa da transesterificação, tem-se o fator de alocação econômica para o biodiesel de 97%. Os resultados do balanço energético para a alocação econômica são mostrados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6. Balanço energético da cadeia de biodiesel considerando alocação econômica de 40% dos insumos para a obtenção do óleo e 97% dos insumos da transesterificação para a obtenção do biodiesel.

Parâmetro	Valor
Balanço (Output / Input total)	1,2
Fator de renovabilidade (Output / Input fóssil)	1,7
Consumo de energia total (MJ / t de biodiesel)	31.868
Consumo de energia fóssil (MJ / t de biodiesel)	21.656

Por um lado, a alocação considera o valor econômico dos produtos e subprodutos, que são determinantes nas relações comerciais. Esta alocação é importante, por exemplo, quando se discute custos ambientais de processos. Entretanto, a alocação por massa tem sido preferida nos estudos de balanço energético, uma vez que a alocação econômica depende de preços que sofrem significativas mudanças ao longo dos anos e diferem de localidade para localidade. Além disso, a alocação por massa possibilita comparações mais claras entre estudos conduzidos em épocas e países diferentes.

6.6 Comparação dos resultados do balanço com outros estudos

Na avaliação de estudos de balanço energético, além do balanço O/I propriamente dito, outros parâmetros devem ser considerados.

Sheehan et al, 1998

No estudo coordenado por Sheehan, para se produzir 1 MJ de biodiesel de soja, utiliza-se 1,2414 MJ de energia primária, ou seja, um balanço de 1: 0,80. Entretanto, neste balanço os pesquisadores incluíram a energia contida no óleo de soja, pois um dos seus objetivos foi calcular a eficiência energética em transformar a energia armazenada nas matérias-primas em energia útil. Nestes valores também foram consideradas as alocações de 18% dos insumos para o óleo de soja (e 82% para o farelo) e de 87% dos insumos para a transformação do óleo de soja em biodiesel (e 13% para a glicerina).

Assim, para efeito de comparação, foram usados os mesmos fatores de alocação deste estudo, como mostrado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7. Comparação do consumo energético com o estudo de Sheehan e colaboradores.

Etapa	Consumo de energia fóssil (MJ de consumo / MJ de biodiesel)		(% em rel. Sheehan)
	Sheehan	Este estudo	
Agricultura	0,0656	0,0312	48
Extração do óleo	0,0796	0,0636	80
Produção do biodiesel	0,1508	0,1004	67
Transporte	0,0150	0,1185	790
Total	0,3110	0,3138	101
Fator de renovabilidade	3,2	3,2	

Obs: nenhuma alocação por massa foi considerada nestes cálculos

A Tabela 6.7 mostra que a etapa agrícola no Brasil usa apenas 48% da energia consumida nos EUA, provavelmente devido a maior produtividade da soja brasileira. A média das fazendas amostradas teve um rendimento médio de 3228 kg/hectare enquanto que na época a produtividade média nos EUA foi de 2554 kg/hectare. Tanto as etapas de extração de óleo como de produção de biodiesel requerem menos energia fóssil que a americana, provavelmente pela predominância de energia hidroelétrica no sistema de energia elétrica brasileiro. No entanto, há uma diferença tecnológica de quase 10 anos entre os estudos e esta situação pode ter sido modificada.

A maior diferença no consumo energético foi observada para o transporte, realizado em boa parte por trem nos EUA e no estudo realizado, sendo apenas rodoviário. Assim, a maior produtividade agrícola no Brasil é compensada pela maior eficiência de transporte no estudo dos EUA, resultando num mesmo fator de renovabilidade de 3,2, ou seja, a cada unidade de energia fóssil consumida, produzem-se 3 unidades de energia renovável. Se o consumo energético no transporte fosse semelhante ao dos EUA, o fator de renovabilidade poderia chegar a 4,7.

Pimentel & Patzek, 2005

Diferentes considerações foram feitas no estudo realizado por Pimentel e Patzek. Além dos gastos energéticos relativos aos insumos, os pesquisadores contabilizaram ainda:

- o gasto energético devido ao trabalho humano,
- a depreciação das máquinas agrícolas,
- a depreciação das máquinas industriais relacionadas ao consumo de aço inoxidável e aço,
- a depreciação das instalações industriais relacionadas ao consumo de cimento.

Com estas considerações, o estudo chegou a um balanço Output renovável / Input total considerando apenas a contribuição energética do biodiesel de soja, de 0,76, valor um pouco menor que o obtido no estudo coordenado por Sheehan de 0,81, mesmo com uma maior produtividade de 2668 kg/hectare.

Quando se retira estes gastos não considerados no presente estudo, nem no estudo de Sheehan, o balanço O/I torna-se mais favorável: 0,94. A comparação deste valor com o seu correspondente (0,58, Tabela 6.2) obtido neste estudo, mostra um balanço mais favorável para o

estudo de Pimentel. Entretanto, o estudo de Pimentel não considerou os gastos de transporte dos grãos até as plantas de biodiesel, o que torna difícil esta comparação e que, certamente afetariam estes resultados, pois são bastante significativos.

Capítulo 7

Principais setores afetados pelo estabelecimento da cadeia produtiva do biodiesel de soja

7.1 Principais impactos ambientais associados à cadeia produtiva do biodiesel de soja

A soja ocupa uma das maiores áreas de cultivo do país. Em 2006, foram produzidas 52.464.640 toneladas de grãos no país, com um rendimento médio de 2379 kg/hectare, numa área plantada de 22.082.666 hectares (IBGE, 2008).

Independentemente do destino final da soja, seja ela para consumo na forma de grãos, óleo, farelo ou qualquer outro subproduto, a sua e a produção de qualquer produto agrícola exige a ocupação de terras, o uso de maquinários, água, fertilizantes e defensivos agrícolas.

7.1.1 A ocupação de terras pelo plantio da soja

O Brasil possui uma extensão territorial de 8.514.205 km² ou seja, 8,51 x 10⁸ hectares, sendo que deste total, 62.352.696 hectares (7,3%) correspondem a áreas ocupadas pelas lavouras temporárias e permanentes (IBGE, 2008). Não se incluem nestes valores as áreas ocupadas pela silvicultura ou plantio de florestas, nem as áreas de florestas naturais, mas apenas aquelas em que se pratica a lavoura. A distribuição da área plantada é bastante heterogênea entre as 5 regiões geográficas do Brasil, sendo que as regiões Sul (33,0%) e Sudeste (13,4%) são as unidades territoriais de maior ocupação com lavouras, como mostrado na Tabela 7.1.

Tabela 7.1. Distribuição territorial e ocupação com lavouras no país.

Área (mil km ²)	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Total	8514.2	3853.0	1553.9	924.6	576.3	1606.4
Lavoura temporária	558.6	23.2	102.8	95.3	185.5	151.8
Lavoura permanente	64.9	5.5	25.7	28.3	4.5	1.0
Total com lavouras	623.5	28.6	128.5	123.6	190.0	152.7
Lavoura (%)	7.3	0.7	8.3	13.4	33.0	9.5

.Fonte: IBGE, 2008.

O cultivo da soja ocupa a maior área (35,4%) dentre os produtos das lavouras temporárias e permanentes do país, sendo seguido pelo milho (20,8%), pela cana-de-açúcar (9,9%), feijão (6,8%), arroz (4,8%) e café (3,7%), como mostrado na Tabela 7.2 e Fig. 7.1.

Tabela 7.2. Ocupação de terras pelas principais lavouras temporárias e permanentes do Brasil no ano base de 2006.

Produto	Área cultivada (milhões de hectares)					
	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Soja (em grão)	22,08	0,52	1,49	1,67	8,13	10,28
Milho (em grão)	13,00	0,55	2,87	2,43	4,69	2,46
Cana-de-açúcar	6,18	0,02	1,13	3,94	0,48	0,59
Feijão (em grão)	4,24	0,17	2,35	0,65	0,85	0,22
Arroz (em casca)	3,01	0,47	0,73	0,12	1,24	0,45
Café (beneficiado)	2,33	0,19	0,17	1,84	0,10	0,03
Total lavouras	62,35	2,86	12,85	12,36	19,00	15,27

.Fonte: IBGE, 2008.

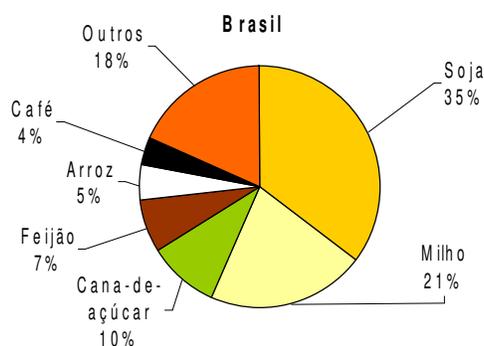


Figura 7.1. Ocupação de terras pelos principais produtos das lavouras no Brasil.

.Fonte: IBGE, 2008.

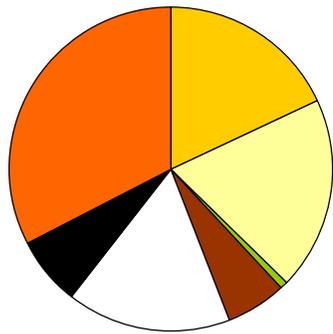
A soja é plantada em praticamente todo o território nacional, mas concentra-se prioritariamente nas regiões Centro-Oeste (46,5%) e Sul (36,8%).

A distribuição na ocupação de áreas em cada uma das 5 regiões geográficas, apresentada na Figura 7.2, mostra a dominância desta cultura também nestas regiões: 68% das regiões ocupadas com lavouras no Centro-Oeste e 42% da região Sul são usadas para o plantio de soja, valores que indicam potencialmente a prática da monocultura.

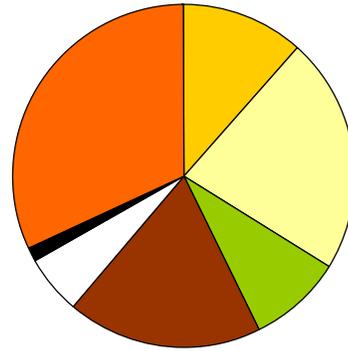
As maiores áreas de plantio de soja encontram-se nos estados de Mato Grosso (26,4%), Paraná (17,8%), Rio Grande do Sul (17,5%), Goiás (11,3%), Mato Grosso do Sul (8,6%), Minas Gerais (4,6%), Bahia (4,0%) e São Paulo (3,0%).

Estas grandes concentrações de culturas de soja, principalmente na região Centro-Oeste, como ocorre no estado do Mato Grosso, caracterizam-se como monocultura. Mesmo que em parte, seja praticada rotação com milho safrinha ou sucessão trigo soja, estas práticas tendem a provocar a degradação física, química e biológica do solo, diminuindo inclusive a produtividade das culturas. Nas regiões dos cerrados, predomina a monocultura da soja entre as culturas anuais. Há a necessidade de introduzir, no sistema agrícola, outras espécies, de preferência gramíneas, como milho, pastagem e outras (EMBRAPA SOJA, 2003).

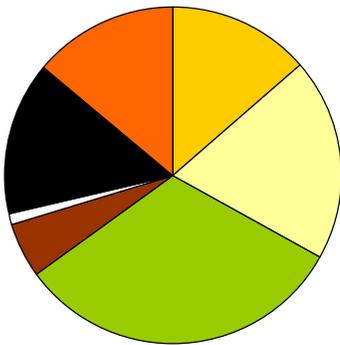
Para a realização da rotação de culturas, entretanto, é preciso bom planejamento a médio e longo prazo, atendendo as necessidades de recuperação do solo e de viabilidade de comercialização dos produtos selecionados. A rotação envolve a seleção de culturas que promovam cobertura do solo e que promovam a adubação verde, produzindo grande quantidade de biomassa, como as plantas forrageiras, gramíneas e leguminosas. Deve-se dar preferência a plantas fixadoras de nitrogênio, com sistema radicular profundo e abundante, para promover a reciclagem de nutrientes. Deve-se priorizar também a diversidade botânica, pois o uso de plantas com diferentes necessidades nutricionais, diferentes sistemas radiculares e hábitos de crescimento auxilia sobremaneira na redução de pragas e doenças e na necessidade de adubação, reduzindo inclusive os custos de produção da cultura principal.



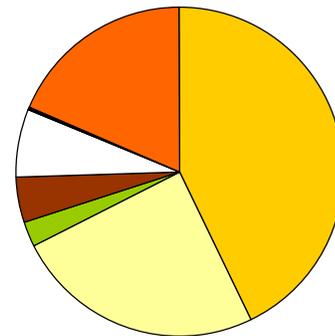
Norte



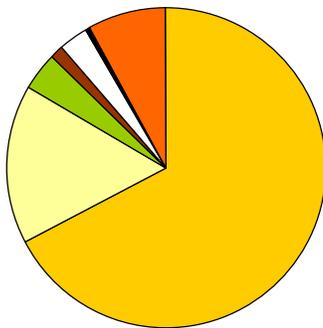
Nordeste



Sudeste



Sul



Centro-Oeste

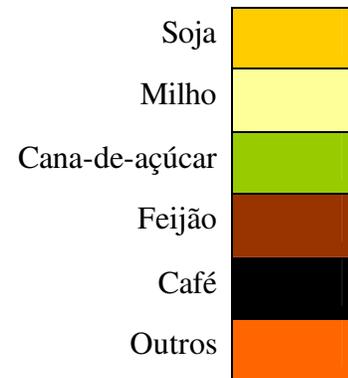


Figura 7.2. Ocupação relativa de áreas pelas principais lavouras nas 5 regiões geográficas.

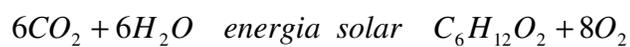
Ano base: 2006. Fonte: IBGE.

Para o sul do Maranhão, a Embrapa propôs um planejamento de cultivo para 8 anos, com a divisão da propriedade em 8 glebas, rotação de culturas de outono/inverno (soja/milho/algodão/pousio/arroz) com culturas de primavera/verão (feijão/milheto/pousio). Neste sistema, cultiva-se a soja por dois anos contínuos em cada talhão, e outros dois anos com outras culturas (milho, arroz, algodão e sorgo). Períodos superiores a três anos contínuos de produção acarretam a proliferação de doenças (EMBRAPA SOJA, 2003).

O planejamento para a prática da rotação de culturas envolve, portanto, um planejamento de longo prazo, a consciência da necessidade da preservação atual para benefícios futuros, uma diversificação das atividades de cada fazenda, um gerenciamento praticamente diário sobre toda a propriedade, enfim, ações que na prática, nem sempre são seguidas.

7.1.2 O uso de agroquímicos no cultivo da soja

A maior parte da biomassa vegetal é produzida a partir de matérias-primas disponíveis na natureza e em abundância, e são produzidas basicamente a partir de gás carbônico, água e energia solar, através da reação de fotossíntese que produz carboidratos e oxigênio. Para a produção da glicose, por exemplo, a reação pode ser representada pela equação abaixo:



Os carboidratos são os principais constituintes da biomassa vegetal, mas além destes, os vegetais possuem também em sua composição proteínas, lipídeos e elementos minerais. Para a formação destas outras substâncias, insumos como nitrogênio, fósforo, potássio, dentre outros, também são necessários para repor a retirada dos nutrientes que a planta consumiu para o seu crescimento e nutrir o solo para o próximo plantio.

Como mostrado nas Tabelas 5.2 (coleta de dados realizada nas fazendas de soja) e 5.6 (balanço de massa da cadeia produtiva), verificou-se um consumo médio de 70 kg de fertilizantes por tonelada de soja obtida, e de 488 kg fertilizantes por tonelada de biodiesel de soja produzido. Estes fertilizantes são constituídos de sais inorgânicos que fornecem principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, que são essenciais para o desenvolvimento da planta. Entretanto, é necessário adicionar uma quantidade muito maior do que a planta irá absorver, pois ocorrem perdas destes

componentes para a própria terra, por adsorção, volatilização, degradação oxidativa e/ou térmica, e por lixiviação, principalmente quando chove.

Como os fertilizantes são constituídos de fosfatos, nitratos e óxidos de potássio as perdas destes componentes geram emissões gasosas como o N_2O , NO_x , NH_3 e emissões para os rios na forma de nitratos e fosfatos. Estas emissões são bastante variáveis e dependem de vários fatores como temperatura, precipitações pluviométricas, tipo de solo, ventos, espaçamento entre as plantas, etc. (SHEEHAN et al., 1998).

Defensivos agrícolas são aplicados para o controle de pragas e doenças. Da coleta de dados realizada, o consumo de defensivos agrícolas foi de 1,6 kg por tonelada de soja produzida e de 10,8kg por tonelada de biodiesel de soja obtido. Embora em quantidade bem inferior aos fertilizantes, os defensivos agrícolas são compostos de significativa toxicidade humana e ambiental.

Da pesquisa realizada nas 5 fazendas, destacam-se principalmente a utilização de três principais defensivos agrícolas

O *metamidofós* (CAS 10265-92-6) (Figura 7.3), que é um acaricida inseticida organofosforado de aplicação foliar, classificado como extremamente tóxico. Seu IDA (Ingestão Diária Aceitável) é de 0,004 mg/kg peso corpóreo. No cultivo da soja é aplicado para controle da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*) e do percevejo verde (*Nezara viridula*) (FERSOL, 2008). Tem potencial de contaminação de águas superficiais (PAN, 2008).

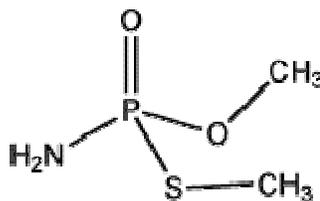


Figura 7.3. Fórmula estrutural do metamidofós.

O *glifosato* (CAS 1071-83-6) (Figura 7.4), que é um herbicida pertencente ao grupo químico da glicina substituída, de baixa classificação toxicológica, é usado em jardinagem caseira. Seu IDA é de 0,042 mg/kg p.c. Aplica-se glifosato no período de pós emergência e como dessecante. É utilizado para o controle de plantas daninhas (MONSANTO, 2008).

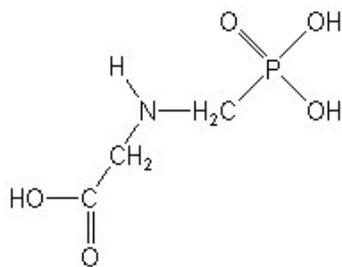


Figura 7.4. Fórmula estrutural do glifosato.

O *monocrotophos* (CAS 6923-22-4) (Figura 7.5) é outro acaricida inseticida organofosforado, de aplicação foliar, classificado como extremamente tóxico. Seu IDA é de 0,0006 mg/kg p.c. Tem um tempo de meia vida de 14 a 21 dias em pH 9,0 a 25°C. A degradação no solo exposto a luz solar é rápida (tempo de meia vida é menor que 7 dias) e menor em ambientes escuros (tempo de meia vida é de aproximadamente 30 dias). O monocrotofós é móvel no solo e, embora degrade rapidamente, possui potencial de contaminação dos corpos líquidos (PAN UK, 2008).

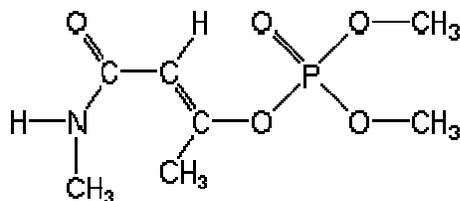


Figura 7.5. Fórmula estrutural do monocrotofós.

7.1.3 O uso de solvente orgânico para a extração do óleo

O *n*-hexano é considerado uma neurotoxina nos EUA e apresenta alta toxicidade em altas concentrações. Nos EUA, o nível máximo permitido de hexano no ambiente é de 500ppm e o TWA (Time Weighted Average) não pode exceder 50 ppm. Por esta razão, há um crescente interesse da indústria de soja em encontrar solventes alternativos (HAMMOND et al., 2005). O

TWA é a concentração média permitida de um determinado componente a qual um trabalhador pode ficar submetido em uma jornada de 8 horas ou em uma semana de 40 horas, sem que ocorram efeitos adversos sobre a sua saúde.

7.1.4 Geração de efluentes

Outro aspecto de grande importância a ser considerado na cadeia produtiva do biodiesel de soja é a utilização de água e conseqüente geração de efluentes. Para cada tonelada de biodiesel de soja produzido são geradas praticamente 3 toneladas de efluente. Considerando o ano base de 2006, a adição de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo gera cerca de 2,1 bilhões de litros de efluente. A Figura 7.6 mostra que 80,4% destes efluentes são gerados no processo de extração do óleo e 19,6% no processo de transesterificação.

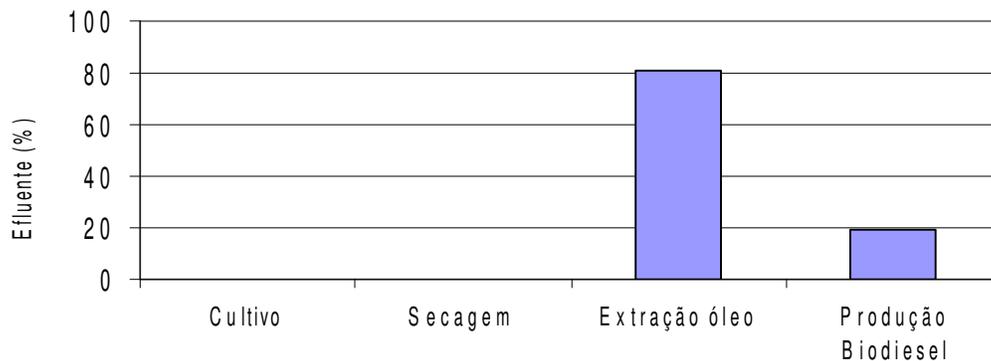


Figura 7.6. Geração de efluentes na cadeia produtiva para a produção dos biodiesel de soja.

Todos os novos processos a serem estabelecidos no país devem priorizar a minimização do uso de água, tanto pelo seu custo cada dia mais elevado, quanto pela dificuldade crescente que as empresas de saneamento básico têm encontrado para transformar a água captada em água potável.

7.2 O aumento da demanda de diesel

A maioria dos produtos agrícolas requer o uso de diesel para a movimentação dos equipamentos agrícolas, no transporte dos insumos para o seu cultivo e no seu próprio transporte em toda a sua cadeia produtiva. Equipamentos agrícolas são utilizados nos processos de preparação do solo, plantio, aplicação de pesticidas e colheita.

Do balanço realizado, tem-se que para cada 1000kg de biodiesel de soja produzido, utiliza-se 591 kg de diesel, ou seja, 59,1% considerando toda a cadeia. Desta forma, a produção de biodiesel, que em sua essência visa substituir o diesel como combustível, aumentará a própria demanda de diesel. A Figura 7.7 mostra o aumento da demanda de diesel na utilização do B2 e do B5, utilizando-se o ano base de 2006.

Considerando-se o B2, ou seja, a adição de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo, tem-se que para a produção de 2% são gastos 59,1% de diesel e, portanto, não há uma economia de 2% em diesel, e sim de $[2 - (0,591 \times 2) = 0,82\%]$. Desta forma, para estimativa da diminuição da dependência externa do diesel, deve-se considerar que a utilização do B2 equivale a B 0,82 e o B5 equivale a B2,04.

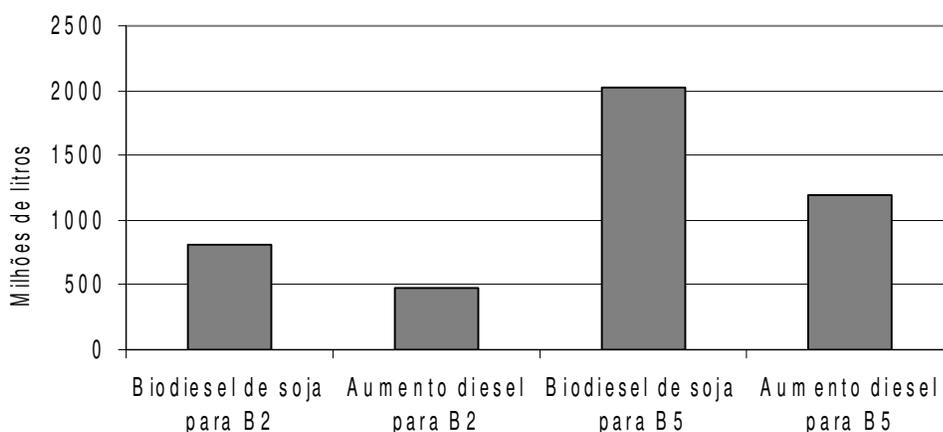


Figura 7.7. Aumento da demanda de diesel para produzir o biodiesel de soja.

(Ano base 2006).

A utilização do B100 em máquinas agrícolas pode alterar este cenário, uma vez que pode ser um combustível alternativo ao diesel, produzido nas proximidades das fazendas que realizam o próprio cultivo das oleaginosas.

Estudos realizados em bancada dinamométrica comparando-se o éster etílico de óleo de girassol com o diesel constataram uma redução de 7,6% na potência do motor e um aumento de 9,8% no consumo específico do combustível em relação ao óleo diesel (MAZIERO et al, 2005).

7.3 A produção de farelo e óleo

Os dois principais produtos do processamento dos grãos de soja são farelo e óleo. Das 28,9 milhões de toneladas de grãos processados na safra de 2006/07, produziu-se 77,2% de farelo e 19,0% de óleo. A maior parte do farelo produzido foi destinado à exportação (59%) e o restante consumido no país (41%) (Figura 7.8) (NAPPO, 2006).

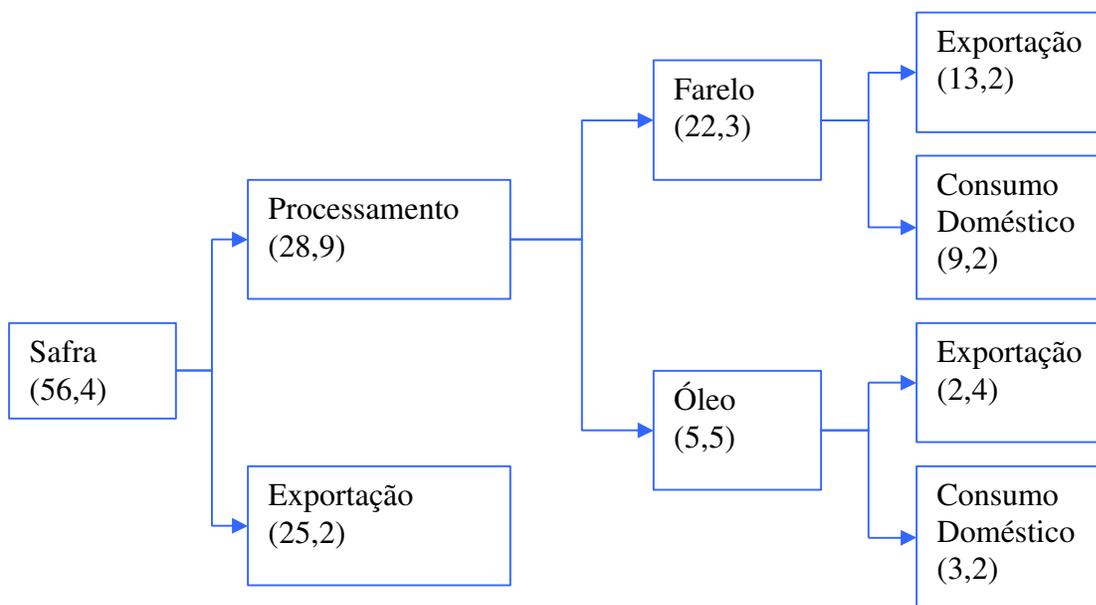


Figura 7.8. Complexo de soja no Brasil. Safra 2006/07. Unidade: milhões de toneladas.

(dados da ABIOVE em NAPPO, 2006).

Comparando-se a demanda de óleo de soja para a produção de todo o B3 do país (em torno de 1218 mil toneladas, com o volume de óleo exportado (2.400 mil toneladas), tem-se que, a redestinação para a produção de biodiesel, de 48% do óleo exportado em 2006, é suficiente para a produção do biocombustível. Esta redestinação dá-se, efetivamente, na medida em que o preço pago no mercado interno pelo óleo de soja é competitivo com o preço de exportação. Outro aspecto decorrente desta redestinação, é a de que nenhuma nova área de lavoura plantada seria necessária para suprir a demanda de biodiesel.

O farelo desengordurado de soja (flocos brancos) pode ser aquecido para obtenção de produtos com características variáveis de solubilidade e atividades enzimáticas, moídos/peneirados, e a farinha, pode ser usada como ingrediente na formulação de produtos panificados, a base de leite de soja ou cárneos. A tostagem é necessária para garantir o máximo valor nutricional para rações animais. O aquecimento deve ser suficientemente alto para inativar certos fatores antinutricionais, como os inibidores da tripsina, que reduzem a hidrólise da proteína durante a digestão (LIU, 1999).

O maior uso do farelo de soja é a incorporação em rações animais, constituindo-se como a principal fonte protéica, uma vez que o teor da mesma é em geral ao redor de 48% de proteína bruta. O alto conteúdo de proteína e o baixo teor de fibras dos farelos obtidos por processos de descascamento e extração por solvente são apropriados para os farelos que destinam-se a alimentação de aves e suínos. Os farelos obtidos sem o processo de descascamento são destinados aos animais ruminantes (HAMMOND et al, 2005).

Rações elaboradas com maior teor de proteína no farelo de soja resultaram em maiores ganhos de peso e conversão alimentar em experimento realizado com frangos (GERBER et al, 2006).

A Tabela 7.3 resume algumas das principais propriedades importantes na composição do farelo de soja produzido no Brasil.

A medida da solubilidade proteica em hidróxido de sódio é uma medida da desnaturação de proteínas e é um indicador de excessivo aquecimento utilizado no controle de qualidade do farelo. A atividade da enzima urease (facilmente medida como a mudança de pH) é frequentemente usada como um indicador de cozimento adequado (HAMMOND et al, 2006).

Tabela 7.3. Características de qualidade do farelo de soja.

Propriedade	Teor (%)	
	(a)	(b)
Umidade	11,5	11,4
Proteína bruta	48,4	43,1
Fibra bruta	4,74	7,2
Cinzas	6,55	5,42
Cálcio	0,28	0,36
Fósforo total	0,59	0,50
Urease	0,02	0,03
Solubilidade proteica	77,05	80,22

(a) GERBER et al, 2006 (b) MENDES et al, 2004

O aquecimento insuficiente é prejudicial, pois não inativa os fatores antinutricionais que interferem no processo digestivo dos animais. O aquecimento excessivo reduz o grau de digestibilidade dos aminoácidos (MENDES et al, 2006).

A exigência dos consumidores internacionais, principalmente europeus, por frangos e suínos alimentados exclusivamente com dietas isentas de produtos de origem animal tem valorizado ainda mais a utilização do farelo de soja na alimentação destes animais. O farelo de soja possui elevados níveis de aminoácidos, como a leucina, arginina, lisina, fenilalanina, valina, isoleucina, histidina e metionina, fundamentais para a nutrição animal (KARR-LILIENTHAL et al, 2005).

7.3.1 Aspectos econômicos

Utilizando-se dados da ABIOVE, elaborou-se as Tabelas 7.4, 7.5 e 7.6, com os preços do grão, do farelo e do óleo de soja bruto ao longo do ano entre 2002 e 2007. Pode-se observar nas Tabelas 7.4 a 7.6 e Figura 7.9 que os preços médios em US\$/t do grão, do farelo e do óleo bruto tem tido constante elevação. Entre 2002 e 2007, os preços do grão e do farelo de soja tiveram um significativo aumento, de 67 e 49%, respectivamente. A elevação do preço do óleo bruto foi maior ainda, atingindo uma elevação de 86% no mesmo período.

Tabela 7.4. Evolução do preço FOB dos grãos de soja (US\$ / t) no Porto de Paranaguá.

Grão	jan	fev	mar	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
2002	167,92	162,41	161,68	174,86	183,80	210,23	216,06	228,21	221,91	210,46	208,28	195,07
2003	214,81	213,61	208,30	217,81	225,19	222,60	221,39	239,69	277,52	287,42	281,31	237,24
2004	290,16	290,87	317,85	322,48	290,45	246,55	236,82	232,12	216,59	224,42	219,09	262,49
2005	206,28	208,02	239,05	229,72	239,60	254,48	245,53	238,92	237,10	234,55	226,04	232,66
2006	229,25	236,87	222,95	225,23	230,52	232,20	228,02	223,87	239,55	255,36	263,28	135,19
2007	293,78	281,01	278,90	268,04	276,69	302,05	319,98	368,28	382,34	390,44	432,25	326,71

*(Fonte: ABIOVE, 2008)***Tabela 7.5.** Evolução do preço FOB do farelo de soja (US\$ / t) no Porto de Paranaguá.

Farelo	jan	fev	mar	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
2002	178,07	163,17	158,96	165,84	166,00	174,00	174,85	184,69	178,79	186,22	185,26	174,17
2003	175,51	185,85	169,60	172,83	183,33	184,22	190,68	201,50	239,68	249,16	240,73	199,37
2004	248,00	231,87	256,59	268,81	252,67	194,84	177,44	181,70	173,31	169,84	172,98	211,64
2005	174,94	172,10	194,62	191,91	198,28	217,18	212,28	202,22	198,18	193,81	210,14	196,88
2006	196,62	200,48	181,88	183,48	184,74	184,34	184,03	190,23	207,01	214,84	206,11	193,98
2007	237,41	228,25	220,64	207,51	210,53	231,24	239,36	283,62	307,87	319,53	361,96	258,90

*(Fonte: ABIOVE, 2008)***Tabela 7.6.** Evolução do preço FOB do óleo bruto de soja (US\$ / t) no Porto de Paranaguá.

óleo bruto	jan	fev	mar	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
2002	363,25	328,76	317,08	338,57	376,02	421,41	474,83	468,42	472,62	540,57	549,00	422,78
2003	486,04	491,07	490,19	497,30	504,06	495,81	462,47	499,15	578,93	593,59	602,24	518,26
2004	598,42	648,15	621,31	609,40	565,56	507,39	510,97	469,78	479,83	482,59	478,73	542,92
2005	445,55	440,42	497,36	482,29	467,10	460,27	454,59	460,19	465,67	440,83	442,24	459,68
2006	434,47	458,83	469,89	476,08	518,67	504,34	518,43	522,10	551,66	649,61	643,08	522,47
2007	695,28	609,42	609,79	645,24	702,39	789,91	803,96	844,47	885,09	1.037,26	1.045,64	788,04

(Fonte: ABIOVE, 2008)

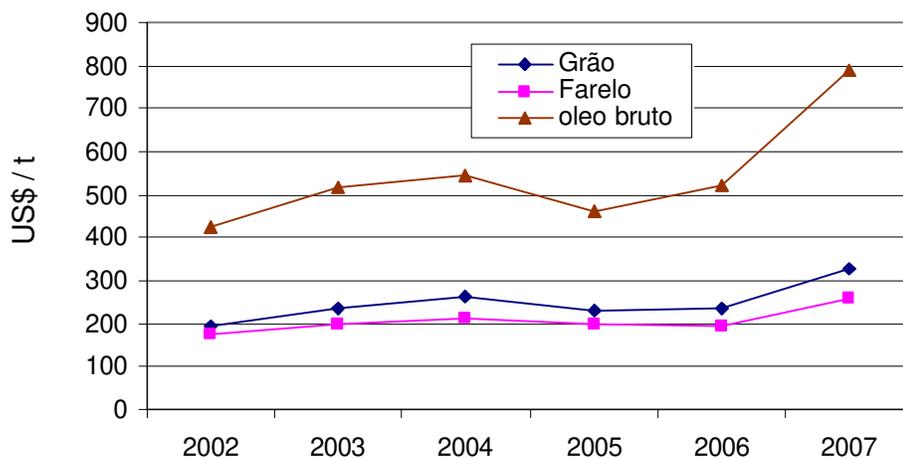


Figura 7.9. Evolução do preço médio do grão, do farelo e do óleo de soja entre 2002 e 2007.

Fonte: ABIOVE, 2008.

A relação entre os preços destes produtos mostra que no período entre 2002 e 2007, o preço do grão de soja situou-se entre 1,18 e 1,26 vezes o preço do farelo. O preço do óleo bruto, por sua vez, no mesmo período, ficou entre 2,43 e 3,04 vezes do preço do farelo.

7.4 O aproveitamento da glicerina

7.4.1 A glicerina bruta

A glicerina bruta obtida no processo de transesterificação tem concentração ao redor de 80% em glicerol. Ela contém água, ácidos graxos livres, sais inorgânicos residuais do catalisador, mono e di-glicerídeos que não reagiram, ésteres metílicos e outros compostos orgânicos em menores proporções. Nesta condição a glicerina apresenta coloração entre amarela a marrom. Por isso, a glicerina bruta tem poucos usos e baixo valor comercial. Seus principais usos, entretanto, requerem que a mesma seja purificada.

Tipicamente, o primeiro passo do processo de purificação da glicerina é a separação do óleo, dos sabões e das outras impurezas orgânicas através de filtração e/ou centrifugação. A purificação final normalmente é feita sob destilação a vácuo, seguida pelo branqueamento com

carvão ativado para operações em larga escala. Outros processos têm sido desenvolvidos para redução dos custos da purificação (EET, 2008).

7.4.2 Oferta e demanda de glicerina

No Brasil, a capacidade instalada de produção em 2006 foi de quase 32.000 toneladas/ano, sendo que a Unilever é responsável por pouco mais que 50% desta capacidade produtiva, dentre as 11 empresas fabricantes. A produção declarada no mesmo ano foi de aproximadamente 14.000 toneladas, sendo a mesma praticamente toda vendida no mercado interno. O principal consumidor da glicerina atualmente é a indústria de cosméticos (65,1%), seguida pela indústria de tintas e vernizes, como mostrado na Figura 7.10 (ABIQUIM, 2008).

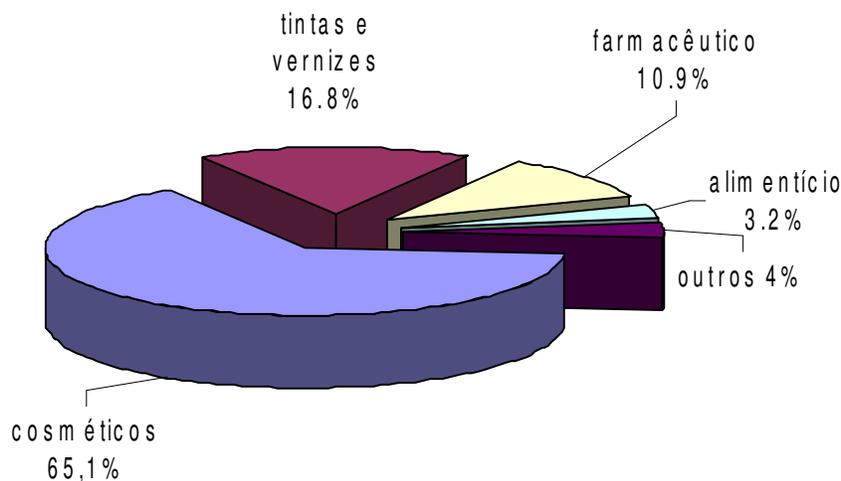


Figura 7.10. Principais destinos da glicerina vendida no mercado interno.

Fonte: ABIQUIM, 2008.

Na indústria de cosméticos a glicerina é utilizada em pastas de dente, hidratantes, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens. Na indústria farmacêutica a glicerina é utilizada em cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes, cremes, pomadas, antibióticos e anti-sépticos. É utilizada também na fabricação de tintas, como amaciante de fibras na indústria têxtil, etc. (FRANCO, 2008).

Utilizando-se dados fornecidos pelo Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio Exterior, construiu-se a Figura 7.11, com as quantidades importadas e exportadas de glicerina entre 1998 e 2007. Observa-se que entre 1999 e 2000, o país exportava cerca de 600 toneladas anuais. Entre 2001 e 2003 houve um período de autosuficiência. Em 2004 o país necessitou importar quase 1000 toneladas para suprir suas necessidades. A partir de 2007, o volume de exportação atingiu volumes superiores a 5000 toneladas anuais.

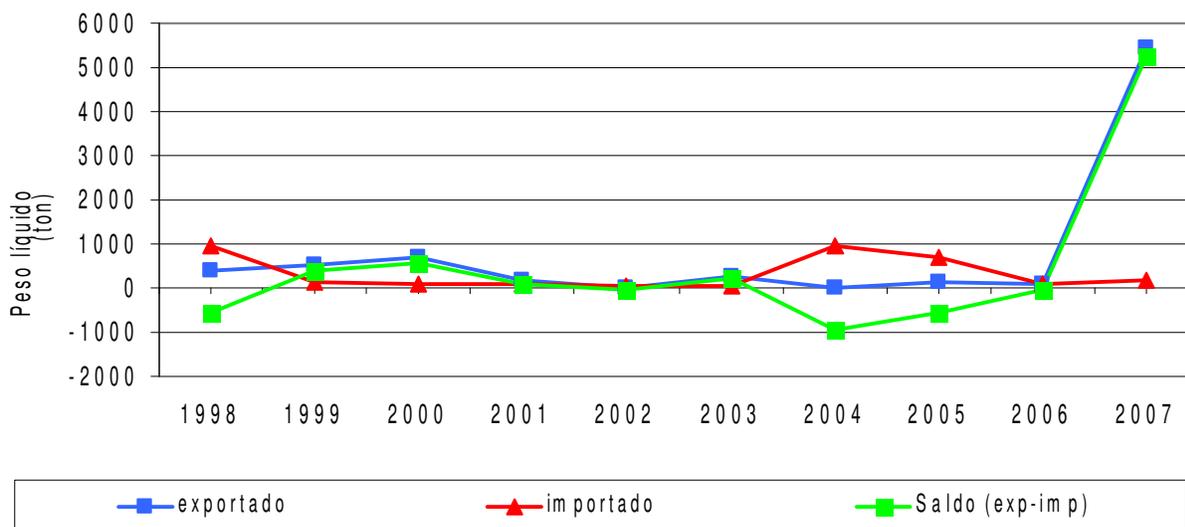


Figura 7.11. Volumes de importação e exportação de glicerina entre 1998 e 2007.

Fonte: (MDIC, 2008)

Do balanço realizado neste estudo, são gerados 113kg de glicerina bruta a cada tonelada de biodiesel produzido. Considerando o cenário de 2006, a introdução do B2 implica na co-produção de cerca de 80.000 toneladas de glicerina bruta por ano.

Como em 2006, praticamente toda a glicerina produzida pelas atuais fábricas de sabões e detergentes foi consumida no mercado interno e o saldo da balança comercial entre as quantidades exportadas e importadas é praticamente nulo, não se observa no cenário atual possibilidade de absorção das 80.000 toneladas de glicerina no mercado interno, geradas no processo de transesterificação para suprir o B2. Em 2007, observa-se que o volume de glicerina exportada praticamente quintuplicou, pois a mesma está sendo co-gerada na fabricação do biodiesel e precisa ser destinada.

Outra importante observação é que o preço pago pelo produto exportado tem caído significativamente nos últimos anos. Entre 1998 e 2001 o preço médio foi de US\$ 1,05 / kg. Entre 2005 e 2007, o preço médio de exportação ficou em US\$ 0,36 / kg (MDIC, 2008).

A superprodução mundial de glicerina criada como co-produto do processo de produção de biodiesel está levando as plantas tradicionais de glicerina ao fechamento e a abertura de outras plantas que a usam como matéria-prima. O grupo Solvay construiu nova planta de epícloridrina em Tavaux, na França que consome glicerina em vez de propileno glicol como matéria-prima. A companhia belga adquire a glicerina de produtores de biodiesel à preços competitivos. A epícloridrina é usada para fazer resinas epóxi, agentes de reforço para papel e outros produtos. O grupo Solvay diz que este novo processo chamado Epicerol tornou-se possível pela criação de uma nova classe de catalisadores cobertos por 11 patentes de aplicação. O gigante grupo agroindustrial Archer Daniels, nos EUA inaugurou plantas que produzem propileno glicol a partir de glicerina, em vez de óxido de propileno, num processo que também emprega catálise avançada. Empresas que tradicionalmente produzem a glicerina estão fechando. A Dow Química fechou sua planta no Texas devido à inundação de glicerina no mercado produzido no processo de biodiesel. A Procter & Gamble Chemicals fechou sua refinaria de glicerina natural na Inglaterra (McCoy, 2006)

No Brasil, a empresa Nova Petroquímica anunciou investimentos de US\$ 50 milhões para construção de planta industrial que produzirá o chamado “polipropileno verde”, ou seja, a partir da glicerina gerada como subproduto da produção de biodiesel (JORNAL DE PLÁSTICOS, 2008).

Capítulo 8

Conclusões

8.1 Considerações sobre o PNPB

A comparação dos preços de exportação dos óleos vegetais produzidos no Brasil mostrou que o óleo de soja tem o custo de oportunidade mais baixo dentre as oleaginosas avaliadas. O óleo de palma (dendê) até recentemente apresentava preço próximo ao da soja, mas em 2007 aumentou em 2,7 vezes (US\$ 1100 / t), ultrapassando o preço do óleo de soja no mesmo ano (US\$ 700 / t). Os óleos de mamona, amendoim e girassol (US\$ 1000 – 1200 / t) tinham seus preços muito próximos ao do biodiesel em 2007 (US\$ 1100 / t). Embora o preço pago pelo biodiesel tenha aumentado significativamente em 2008 (US\$ 1860 / t), viabilizando outras oleaginosas, a soja ainda é a opção mais econômica.

A análise das produções atuais das principais plantas fornecedoras de óleo mostrou que a produção da soja, que na safra 2007/08 foi de 58,7 milhões de toneladas, é muito superior às demais. A produção de coco-da-baía e de caroço de algodão em 2006 foram da ordem de 2 milhões de toneladas.

A análise das produtividades em óleo mostrou que o dendê e o coco-da-baía apresentam elevado potencial de geração de óleo, da ordem de 3100 e 1900 kg de óleo por hectare, respectivamente. Abaixo, vem o amendoim, com cerca de 770 kg de óleo /hectare e o girassol com 670 kg de óleo / hectare. A soja e a canola ficam próximas a 450 kg de óleo por hectare. O algodão e a mamona ficam ao redor de 350 kg de óleo /hectare.

Embora o PNPB tenha forte apelo de desenvolvimento social para as regiões Norte e Nordeste, regiões onde se registram as menores rendas per capita do país, as regiões Sul e Centro-Oeste têm maior potencial em curto prazo de produção de biodiesel, em função principalmente da produção de soja.

A análise preliminar das diversas oleaginosas mostrou que o óleo de soja, em função do seu menor preço, produção 22 vezes superior a de óleo de algodão (a segunda maior produção no país) e a imensa cadeia produtiva associada à soja, como fazendas e setor industrial para o seu processamento, direcionaram o estudo para a produção de biodiesel a partir da mesma.

8.2 O balanço energético da cadeia produtiva de soja

O presente estudo considerou que a alocação por massa de 18% dos insumos até a produção do óleo é a mais correta. O fator de renovabilidade calculado através de todas as considerações realizadas foi de 3,0, ou seja, a cada unidade de energia fóssil consumida, obtém-se 3,0 unidades de energia oriundas de fontes renovável.

A análise de sensibilidade mostrou que a eficiência do transporte rodoviário por caminhão pesado, bem como a distância entre as fazendas produtoras de soja e as plantas de biodiesel estão entre os fatores de maior influência sobre o fator de renovabilidade. A variação individual da quantidade de fertilizantes, defensivos, rendimento agrícola, energia elétrica, óleo combustível, distância de transporte e consumo de diesel em -50 e +50% resultou em fatores de renovabilidade entre 2,6 e 3,6.

O mesmo fator de 3,2 foi obtido aqui e no estudo realizado nos EUA coordenado por Sheehan, quando se retiram as diferenças metodológicas. Entretanto, a participação das etapas agrícola, de extração, transesterificação e transporte na composição do consumo energético são diferentes. Se por um lado, no Brasil o rendimento agrícola é maior e a nossa matriz de energia elétrica é predominantemente hidrelétrica, nos EUA a eficiência de transporte é bem maior, devido ao uso de trem para o transporte de cargas.

A comparação do balanço energético do biodiesel de soja com o do etanol, resultante de uma cadeia produtiva bem estabelecida no país e que possui um fator de renovabilidade de 9,3, mostra que a produção do etanol é 3 vezes mais eficiente que a do biodiesel de soja no uso de energia fóssil para obtenção de energia renovável. A maior eficiência é decorrente principalmente

da diferença na produtividade agrícola, que foi próxima a 90 toneladas de cana por hectare na safra de 2005/06 e de 3 toneladas de soja por hectare no levantamento realizado.

8.3 Principais setores afetados pela cadeia do biodiesel de soja

A soja é o principal cultivo dentre as lavouras permanentes e temporárias, ocupando aproximadamente 35% das terras cultivadas no país. Embora seja plantada em praticamente todo o território nacional, sua produção concentra-se principalmente nas regiões Centro-Oeste (46,5%) e Sul (36,8%). Na região Centro-Oeste a soja ocupa 68%, e na região Sul, 42% do total das áreas, consideradas todas as lavouras de cada região. Estas grandes concentrações de culturas de soja, principalmente na região Centro-Oeste, que ocorre no estado do Mato Grosso, caracterizam-se como **monocultura**. A prática da rotação de culturas, estruturada num planejamento de longo prazo, é necessária para preservação da qualidade biológica destas terras, evitando-se a proliferação de doenças e a degradação química e ambiental das áreas plantadas.

O consumo de insumos agrícolas para a produção de soja, determinado pelo balanço de massa para **fertilizantes (488 kg / t de biodiesel)** e para **defensivos agrícolas (10,8 kg/t de biodiesel)**, revela que a produção de biodiesel, embora feita a partir de matéria-prima renovável, tem impactos ambientais associados à fabricação destes insumos e à degradação dos mesmos após a sua aplicação, podendo contribuir na formação de emissões gasosas como o N₂O, NO_x, NH₃, emissões para os rios na forma de nitratos e fosfatos, além dos defensivos também apresentarem significativa toxicidade humana e ambiental.

O consumo de hexano (**4kg / t de biodiesel**), embora em menor quantidade também é significativo devido à sua elevada toxicidade e deve atender aos requisitos de segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos.

A produção do B2 tem associada à cadeia produtiva do biodiesel a geração de **2,1 bilhões de litros de efluente** por ano, o que eleva o uso de um recurso precioso e a demanda por tratamento de água.

Embora um dos objetivos do PNPB seja a redução da dependência externa do diesel, a cadeia produtiva para a produção de biodiesel usa este insumo para operação dos equipamentos agrícolas e nas etapas de transporte, o que resultou num consumo total de diesel de **591 kg / t de biodiesel**. Assim, como a maior parte do diesel é consumida no transporte rodoviário e o mesmo

é adicionado em pequenos percentuais ao diesel de petróleo, a introdução do biodiesel aumenta o consumo do próprio diesel. Assim, o B2 em realidade equivale ao B 0,82 e o B5 equivale ao B2,04.

A geração dos 812 milhões de litros de biodiesel para suprir o B2 gera cerca de **80.000 t/ano de glicerina**, que necessita ser destinada e para a qual estão se buscando novos usos.

8.4 Limitações do estudo

O país está em pleno processo de implantação do PNPB e todos os aspectos econômicos podem ser alterados nos próximos anos. A relação entre os preços das diversas fontes oleaginosas, o diesel e o biodiesel, que são determinantes no estabelecimento do programa, têm variado consideravelmente, como mostrado no trabalho e outras matérias-primas podem vir a ser utilizadas.

Embora o estado de São Paulo não seja uma região tradicionalmente produtora de soja e, a representatividade da produção das fazendas avaliadas, cerca de 2 mil toneladas, seja muito inferior à produção anual brasileira de 58,4 milhões de toneladas na mesma safra de 2006/2007, a análise de sensibilidade relativa à variação dos insumos agrícolas mostra pequena alteração no fator de renovabilidade devido à estas variações. A representatividade dos dados relativos aos processos industriais também é muito pequena, devido a grande dificuldade de obtenção de dados do setor. Uma das maiores dificuldades neste estudo e em outros envolvendo a avaliação de ciclo de vida foi a obtenção de dados do setor produtivo, pois são considerados confidenciais pelas empresas. Como mostrado nesta tese, utilizou-se de vários estudos de ciclo de vida realizados em outros países para a determinação do balanço energético, estudos que em sua maioria, não foram realizados no Brasil. Embora pequenas variações nos valores usados não afetem grandemente o balanço realizado, a alteração simultânea de vários fatores, com o uso de dados nacionais que venham a ficar disponíveis, podem resultar em diferenças nos resultados obtidos. A soma destes fatores faz com que os resultados aqui apresentados sejam característicos de um estudo de caso localizado no ano de 2007 em cidades do estado de São Paulo.

8.5 Considerações gerais

A produção de qualquer produto, quando observada ao longo de sua cadeia produtiva, requer o uso de vários insumos e, geralmente, têm resíduos e emissões associadas aos seus vários processos.

Embora seja de origem renovável, a introdução do biodiesel na matriz energética do país tem impactos significativos no uso, na transformação e na ocupação de terras e nas emissões para a água e para o ar. Portanto, também tem um custo ambiental, mas diferente dos combustíveis fósseis.

Particularmente, a introdução do biodiesel a partir da soja, tem o benefício de se produzir o farelo que é altamente protéico, de elevado valor comercial como ingrediente para rações animais, e que, portanto, está indiretamente ligada a produção de carnes para alimentação humana. Assim, pode-se dizer que tanto o biodiesel como o farelo resultante desta cadeia tem fluxo estabelecido nos atuais padrões de consumo e uso do país. Este fato é de extrema importância, uma vez que a massa gerada do farelo é 4,4 vezes maior que a do biodiesel, e o seu máximo aproveitamento é necessário tanto do ponto de vista ambiental como econômico. Tortas resultantes de outras oleaginosas podem não apresentar o mesmo potencial de uso.

A glicerina gerada no processo, entretanto, não é atualmente consumida, embora existam várias pesquisas em andamento para a sua valorização e uso.

A soja, por suas características agrônômicas, entretanto, não se configura como uma cultura viável para pequenos produtores agrícolas, pois exige grandes extensões de terra e elevado grau de mecanização. Assim, é pouco provável, que a introdução do biodiesel de soja seja uma alavanca para o aumento de renda do pequeno agricultor. Por outro lado, há sem dúvida a geração de empregos, tanto na área agrícola, como na área industrial em toda a cadeia produtiva, aspecto, entretanto, que não foi tratado neste estudo.

8.6 Recomendações para políticas públicas

Através das análises realizadas nesta tese, alguns pontos foram considerados fundamentais na condução de políticas públicas relacionadas ao biodiesel, a seguir pontuados:

- a) O incentivo a produção de qualquer produto, como o biodiesel, deve ser avaliado sob o aspecto de sua cadeia produtiva, considerando os aspectos de oferta e demanda de todos os insumos e subprodutos desta cadeia.
- b) O uso da terra para a produção agrícola deve ser objeto de grande atenção por parte dos governantes, uma vez que o uso tende a se tornar cada vez mais intensivo, para que este uso seja feito com as melhores práticas de gestão ambiental destas áreas, exigindo o atendimento às legislações vigentes.
- c) A melhora na eficiência de transporte por caminhões, bem como o aumento da participação do transporte ferroviário de cargas são fatores determinantes para a redução no consumo de recursos fósseis, diminuição do aquecimento global e elevação do fator de renovabilidade dos biocombustíveis.
- d) Programas que auxiliem o processo de organização da agricultura familiar, para que a mesma possa suprir parte significativa de matéria-prima para a produção de biodiesel, são essenciais para sua efetiva inserção no agronegócio voltado ao setor energético.

Referências Bibliográficas

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Produção Nacional de Biodiesel puro B100 (metros cúbicos)**. Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Producao_de_biodiesel_m3.xls. Acesso em: 03 de fev 2008.

ABREU, Fernando Antonio Pinto. **Aproveitamento industrial do coco-da-baía maduro**. Disponível em: http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_1943.pdf. Acesso em 30 mai 2008.

ALMEIDA NETO, José Adolfo; CRUZ, Rosenira Serpa; ALVES, Jaenes Miranda; PIRES, Mônica de Moura; ROBRA, Sabine e PARENTE Jr, Expedito. Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona. In: Congresso Brasileiro de Mamona-Energia e sustentabilidade, I, 23 a 26 novembro de 2004, Campina Grande/PB. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

ABIQUIM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Anuário da Indústria Química Brasileira – 2007. São Paulo: ABIQUIM, 2008. CD-Rom.

APROSOJA – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA DO ESTADO DE MATO GROSSO. Levantamento de safra – BR. Disponível em: <http://www.aprosoja.com.br/novosite/estatisticav.php?cate=1>. Acesso em 18 maio 2008.

ARAGÃO, Wilson Menezes et al. **A cultura do coqueiro**. EMBRAPA Tabuleiros costeiros: ISSN 1678-197X, Nov / 2007. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/imp_ortancia.htm. Acesso em 12 de maio de 2008.

ARRUDA, Francineuma Ponciano. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca L.*) como alternativa para o semi-árido nordestino**. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, vol. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

ABIOVE - ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS de ÓLEOS VEGETAIS. Complexo Soja - Balanço Oferta / Demanda. Disponível em: http://www.abiove.com.br/balanco_br.html. Acesso em 16 jan 2008.

BARCELOS, Edson e SANTOS, Jackson, A. **Características agronômicas das sementes das sementes de dendê produzidas pela EMBRAPA** (folheto Técnico). EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL: Manaus, 2000.

BARCELOS, Edson; SANTOS, Jackson, A. e RODRIGUES, Maria do Rosário Lobato. **Dendê. Alternativa de desenvolvimento sustentável para agricultura familiar na Amazônia brasileira**. EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL: Manaus, 2002.

BRASIL. Lei N° 11.997, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 jan. 2005. disponível em < [http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/leis/2005/lei%2011.097%20-%202005.xml?f=templates\\$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/leis/2005/lei%2011.097%20-%202005.xml?f=templates$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu)>. Acesso em 25 maio 2008.

BRASIL. Resolução ANP No 15, de 17 de jul. 2006. Estabelece as especificações de óleo diesel e mistura óleo diesel/biodiesel – B2 de uso rodoviário. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2006. Disponível em <

[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2006/julho/ranp%2015%20-%202006.xml?f=templates\\$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2006/julho/ranp%2015%20-%202006.xml?f=templates$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu)> Acesso em 13 maio de 2008.

BRASIL. Resolução ANP Nº 07, de 19 de mar. 2008. Estabelece a especificação do biodiesel. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 mar. 2008. Disponível em <
[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x=\\$nc=8931](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x=$nc=8931)> Acesso em 13 maio de 2008.

CAMPBELL, COLIN. The End of the First Half of the Age of Oil. In: IV INTERNATIONAL WORKSHOP ON OIL AND GAS DEPLETION, 4., 19-20 May 2005, Lisbon, Portugal. **Anais eletrônicos...** Uppsala/Suécia, 2005. Disponível em: <http://www.cge.uevora.pt/asp02005/abstracts.php> Acesso em: 10 out 2007.

COLTRO Leda., CASTILHO Guilherme., GARCIA Eloisa.E.C. Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil. **International Journal of Life Cycle Assessment**, vol.8, n.5, p. 290-296, 2003.

COM - COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Biofuels Progress Report**, Brussels, 9.1.2007. COM(2006) 845 final. Disponível em; http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/07_biofuels_progress_report_en.pdf. Acesso em 10 abr 2008.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Central de Informações agropecuárias. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 14 de maio de 2008.

EET CORPORATION. **Glycerin Purification**. Disponível em: <http://www.eetcorp.com/heepm/glycerine.htm>. Acesso em 26 mar 2008.

EMBRAPA ALGODÃO. **Amendoim.** Disponível em:
<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/amendoim/index.html>. Acesso em 13 de maio de 2008a.

EMBRAPA ALGODÃO. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar.** ISSN 1678-8710, 2003. Disponível em:
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoAgriculturaFamiliar/subprodutos.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2008.

EMBRAPA ALGODÃO. **Mamona.** Disponível em:
<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>. Acesso em: 14 de maio de 2008b.

EMBRAPA RONDÔNIA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -. **Rondônia discute biodiesel com uso de dendê.** Disponível em:
http://www.procitropicos.org.br/userfiles/file/release_1310biodisel%20_2.pdf. Acesso em abril de 2006.

EMBRAPA SOJA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de girassol.** Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaogirassol/index.htm> Acesso em maio de 2004.

EMBRAPA SOJA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A soja.** Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaogirassol/index.htm> Acesso em abril de 2006.

EMBRAPA SOJA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Rotação de culturas.** Disponível em:
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fonteshtml/soja/sojacentralbrasil2003/rotacao.htm> Acesso em 11 jan de 2008a.

EMBRAPA SOJA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja. Região Central do Brasil 2007.** Londrina/PR: EMBRAPA, 2006. Disponível em: http://www.cnpso.embrapa.br/download/tpsoja_2007.pdf. Acesso em 21mar de 2008b.

EMBRAPA TRIGO - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Definição de canola.** Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/canola/definicao.htm>. Acesso em junho de 2005.

FERSOL. Metamidofós 600 Fersol (folheto técnico). Disponível em: <http://www.fersol.com.br/pdf/metamidofos600.pdf>. Acesso em 13 jan 2008.

FOS ENGINEERING. **Poder calorífico.** Disponível em: http://www.fosfluid.com.br/fos2/fos_eng/informacoes_tec.htm. Acesso em 25 de jan 2008.

FRANCO, Marcelo. **Glicerina, um problema do biodiesel.** Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Marcelo%20Franco.pdf>. Acesso em 25 de mar 2008.

GARCIA, Eloísa E. C. **Origem da ACV e Normatização.** In: MOURAD, Anna L.; GARCIA, Eloísa E. C.; Vilhena, André. Avaliação do Ciclo de Vida. Princípios e aplicações. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA/ Compromisso Empresarial Para Reciclagem – CEMPRE, 2002. Cap.3.

GAZETA MERCANTIL. A segurança alimentar, uma visão de 2008 (28 março 2008). Disponível em: <http://www.gazeta.com.br/integranoticia.aspx?param=18%2c0%2c1729512%2cuiou>. Acesso em 07 de abril 2008.

GAZZONI, Décio L.; FELICI, Paulo H. N.; CORONATO, Rafael M. S. Balanço energético das culturas de soja e girassol para a produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE

BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. **CD Rom...**
Brasília: ABIPTI, 2006. p. 12-17.

GERBER, Luis Fernando Pigatto; PENZ JÚNIOR, Antonio Mário e RIBEIRO, Andréa Machado Leal. Efeito da composição do farelo de soja sobre o desempenho e o metabolismo de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Porto Alegre/Brazil, v.35, n.4, p.1359-1365, 2006.

HAGUIUDA, Celso; VENEZIANI, Renato. **Eficiência energética no saneamento básico - SABESP**. In: 3º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética e Cogeração de Energia da ABESCO, 28 a 29 jun 2006, São Paulo/SP. Disponível em: http://www.metodoeventos.com.br/3eficienciaenergetica/downloads/2905/tarde/celso_haguiuda.pdf. Acesso em 24 jan 2008.

HAMMOND, Earl G.; JOHNSON, Lawrence A.; SU, Caiping; WANG, Tong and WHITE, Pamela J. Soybean Oil. In: SHAHIDI, Fereidoon. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Sixth Edition, Volume 2. Hoboken/EUA: Wiley-Interscience, 2005. p. 577-653.

KALTSCHMITT, Martin., REINHARD, Guido A., STELZER, Tim Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects. **Biomass and Bioenergy**, Great Britain, v.12, n.2, p.121-134, 1997.

KARR-LILIENTHAL, Lisa K.; GRIESHOP, Christine M.; SPEARS, Julie K. and FAHEY Jr., George C. Amino Acid, carbohydrate and fat composition of soybean meals prepared at 55 commercial U.S. soybean processing plants. **J. Agric. Food. Chem.**, Urbana/USA, v.53, p. 2146-2150, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal. Lavouras temporárias e permanentes**. Várias tabelas. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=pa&z=t&o=10>. Acesso em abril de 2006.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso 13 de out 2007a.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>. Acesso em 13 out 2007c.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Working Group III contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM040507.pdf>. Acesso em 13 out 2007c.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework – ISO 14040**. Geneva/Suíça: ISO, 2006. 44p.

JONES, Sam and PETERSON, Charles L. **Using Unmodified Vegetable Oils as a Diesel Fuel Extender – A Literature Review**. University of Idaho, Moscow, Idaho 83843, 2002. Disponível em: <http://www.electricitybook.com/bio0113003/idaho-wvo-study.pdf>. Acesso em 01 nov 2007.

JORNAL DE PLÁSTICOS. Nova Petroquímica é a primeira do mundo a desenvolver plástico de polipropileno com derivado de biodiesel. Março de 2008. Disponível em: <http://www.jorplast.com.br/jpmar08/pag02.html>. Acesso em 15 de maio de 2008.

LIMA, Daniela G.; SOARES, Valerio C.D.; RIBEIRO, Eric B.; CARVALHO, Daniel A.; CARDOSO, Érika C.V.; RASSI, Flávia C.; MUNDIM, Kleber C.; RUBIM, Joel C.E SUAREZ, Paulo A.Z. Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 71, p. 987–996, 2004.

LIU, KeShun. **Soybeans. Chemistry, Technology and Utilization.** Maryland/EUA: Aspen Publishers, 1999, 532p.

LOVATELLI, Carlo. Perspectiva para soja 2020 (palestra). In: 74th IASC World Congress 2005. 17 a 20 janeiro 2005, Mumbai/Índia. Disponível em: http://www.abiove.com.br/palestras/abiove_pal_iasc05_br.pdf. Acesso em 01 nov 2007.

MACEDO, Isaías C.; SEABRA, Joaquim E. A. e SILVA, João E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 average and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, doi:10.1016/j.biombioe.2007.12.006, 2008.

MAZIERO, José Waldemar Gonzáles; CORREA, Ila Maria; TRIELLI, Maurício Assumpção; BERNARDI, José Augusto; D'AGOSTINI, Marcos. Avaliação do desempenho de um motor de ignição por compressão utilizando óleo diesel e éter etílico de óleo de girassol como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, II, 27-29 jul 2005, Varginha, **Anais...**, Varginha: UFLA, 2005, CD Rom.

McCOY, Michael. Glycerin surplus. **Chemical & Engineering News**, vol. 84, n.6, p. 7, 2006. Disponível em: <http://pubs.acs.org/cen/news/84/i06/8406notw3.html>. Acesso em 27 mar 2008.

MENDES, W. S.; SILVA, I.J., FONTES, D. O.; RODRIGUEZ, N. M.; MARINHO, P.C.; SILVA, F.O.; AROUCA, C.L.C.; SILVA, F.C.O. Composição química e valor nutritivo da soja crua submetida a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**, v.56, n.2, p-207-213, 2004.

MME - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2007.** Disponível em:

http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432. Acesso em 15 nov 2007.

NAPPO, Márcio. **Biodiesel no Brasil. A Visão da indústria de óleos vegetais – ABIOVE** (palestra). In: 6º Fórum de debates sobre qualidade e uso de combustíveis, Rio de Janeiro / Brazil. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP, 01 jun 2006. Disponível em: http://www.abiove.com.br/palestras/abiove_pal_biodiesel_01jun06.pdf. Acesso em 03 Fev 2008.

McCORMIK, R.L.; ALLEMAN, T.L.; RATCLIFF, M.; MOENS, L. and LAWRENCE, R. **Survey of the quality and stability of biodiesel and biodiesel in the United States in 2004**. Colorado/EUA, National Renewable Energy Laboratory, 2005. NREL/TP-540-038836.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Brasil exportador**. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br>. Acesso em 25 mar 2008.

MONSANTO. Glifosato. Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. Disponível em: <http://www.monsanto.com.br/roundup/glifosato/indice.asp>. Acesso em: 13 de jan 2008.

MOURAD, Anna L.; GARCIA, Eloísa E. C.; Vilhena, André. **Avaliação do Ciclo de Vida. Princípios e aplicações**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA/ Compromisso Empresarial Para Reciclagem – CEMPRE, 2002. 92p.

NATIONALS GOVERNORS ASSOCIATION. **Securing a clean energy future. Greener fuels, greener vehicles: a state resource guide**, 2007, 36p. Disponível em <http://www.nga.org/files/pdf/0802greenerfuels.pdf>. Acesso em 11 de abr de 2008.

NATURALS RESEARCH CANADA`s OFFICE OF ENERGY EFFIENCY. Canadian vehicle survey – Summary report. May 2007. Disponível em: <http://www.oee.nrcan.gc.ca/Publications/statistics/cvs05/chapter4.cfm?attr=0>. Acesso em maio 2008.

NOGUEIRA, Luiz augusto Horta. **Análise da utilização de energia na produção de álcool de cana de açúcar**. Campinas: FEM/UNICAMP, 1987. Tese de doutorado, 164 p.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Biodiesel. como e porque**. In: Palestra proferida no Fórum Permanente de Energia & Meio Ambiente, NIPE/UNICAMP, abril de 2004.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Barreiras a superar**. Organizado pela coordenação de publicações, Série 4, 2004, p. 109-111.

OLIVEIRA J., Ezer D. e SEIXAS, Fernando. Análise energética de dois sistemas mecanizados na colheita do eucalipto. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 49-57, 2006.

OPEC – ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES. **Annual Statistical Bulletin 2006**. Disponível em: <http://www.opec.org/library/annual%20statistical%20bulletin/pdf/asb2006.pdf>. Acesso em: 10 out 2007.

OPEC – ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES. **OPEC Bulletin 02/08**. Disponível em: <http://www.opec.org/library/opec%20bulletin/2008/pdf/ob022008.pdf>. Acesso em: 05 abr 2008.

PESTICIDE ACTION NETWORK UK - PAN UK. **Monocrotophos**. Disponível em: <http://www.pan-uk.org/pestnews/actives/monocrot.htm>. Acesso em 13 de jan 2008.

PIMENTEL, David; PATZEK, Tad W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood. Biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York/USA, v. 14, n.1, p. 65-76, march 2005.

PETROBRAS DISTRIBUÍDORA – BR. **Tipos de diesel**. Disponível em: <http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf/0/6dd1028febf1a0e903256dad004d0e78?opendocument&sgrandes+consumidores>. Acesso em: 15 abril de 2006.

PETROBRÁS – PETRÓLEO BRASILEIRO S/A. **Processo H-Bio**. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/tecnologia/port/hbio.asp&lang=pt&area=tecnologia>. Acesso em 06 jul 2008.

PRADHAN, Anup; SHERSTHA, Dev. S.; JERPEN, Jon V.; DUFFIELD, James. The energy balance of soybean oil biodiesel production: A review of past studies. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n.1, p. 185-194, 2008.

ROHR, Rodolfo. **Óleos e Gorduras Vegetais e seus subprodutos proteicos**. Campinas: Faculdade de Tecnologia de Alimentos da UNICAMP, Campinas, 1973. 184p.

SANT `ANNA, Edimilson Antonio Dato. **Desafios da logística para distribuição de biocombustíveis**. In: Seminário Internacional de biocombustíveis – OLADE, Brasília/Brasil, 23-26 abril 2006. Disponível em: <http://www.olade.org/biocombustibles.old/Documents/PDF-10.pdf>. Acesso em 03 de fev 2008.

SANTOS, Natália R. **Dendeicultura no estado do Amazonas: viabilidade econômica, social e ambiental, utilização do óleo de dendê como fonte alternativa de energia e considerações sobre incentivos governamentais e as pesquisas**. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Economia, 2005, 22p. Disponível em: <http://www.pet.ie.ufu.br/paper.doc>. Acesso em abril 2006.

SAVY F., Angelo. **Mamona – Tecnologia Agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005, 105p.

SCHUCHARDT, Ulf; SERCHELIA, Ricardo e VARGAS, Rogério Matheus. Transesterification of Vegetable Oils: a Review. **Journal of Brazilian Chemical Society**, Brazil, v.9, n.1, p.199-210, 1998.

SCHUCHARDT, Ulf. Matérias primas alternativas para a produção de biodiesel por catálise ácida. In: SIMPÓSIO DO AGRONEGÓCIO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, II, 9-10 maio 2006, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006, CD ROM.

SECOM – SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL. **Cadeia produtiva da soja impressiona chineses** (15/01/2003). Disponível em: http://www.secom.mt.gov.br/conteudo.php?pageNum_Outras=0&sid=13&cid=2002&parent=0&totalRows_Outras=18811. Acesso em 18 mai 2008.

SHEEHAN, John; CAMOBRECO, Vince; DUFFIELD, James; GRABOSKI, Michael, SHAPOURI, Housein. **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for use in an Urban Bus**, Colorado/EUA, National Renewable Energy Laboratory, 1998. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503.

SUAREZ, Paulo A. Z. and MENEGHETTI, Simoni M. Plentz. **70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil**. *Quím. Nova*, 2007, vol.30, no.8, p.2068-2071. ISSN 0100-4042.

TONET, Ricardo M. **A cultura do coqueiro – uma tomada de decisão**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/centros/fruticultura/destaque/arquivos/culturadocoqueiro.htm>. Acesso em 07 abr 2008.

TOMM, Gilberto O. **Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes**. *Revista plantio direto*, 2006, vol 15, no 94, p. 4-8.

TRIGO, Ingrid L.A.; MARTINI, André M.; FRANCISCO, Eric; HUSAMI, Mohamed S. **Biodiesel. Barriers, potencial and impacts (2007)**. Disponível em: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/home.htm. Acesso em 01 abr 2008.

UFOP - UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL **Biodiesel in Germany 2006. Market trends and competition**. Disponível em: http://www.ufop.de/downloads/Biodieselreport_2006.pdf. Acesso em: 12 de abr 2008.

UNGARO, Maria Regina Gonçalves. **Cultura do girassol**. Boletim Técnico 188. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 2000. 36p.

USDOE - UNITED STATE DEPARTMENT OF ENERGY. **Biodiesel blends**. Clean cities, april 2005, 2p. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37136.pdf>. Acesso em 15 nov 2007.