



Universidade Estadual de Maringá

*Programa de Pós-Graduação em Bioenergia*

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

Aplicação de técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida na produção do biodiesel a partir de óleo de soja

CAMILA DE OLIVEIRA GARRIDO CASTANHARI

Dissertação encaminhada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia como requisito para a obtenção do título de mestre em Bioenergia, área de concentração Biocombustíveis.

Maringá, abril de 2013



**Universidade Estadual de Maringá**

*Programa de Pós-Graduação em Bioenergia*

**DISCIPLINA DISSERTAÇÃO IV**

**PROJETO DE PESQUISA – MESTRADO EM BIOENERGIA**

**Mestrando(a):**

Camila de Oliveira Garrido Castanhari

**Formação de graduação:**

Química

**Orientador:**

Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

**Linha de pesquisa4:**

Impactos Ambientais e Sócio- Econômicos

**Título do projeto:**

Aplicação de técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida na produção do biodiesel a partir de óleo de soja

**Local de realização:**

Universidade Estadual de Maringá

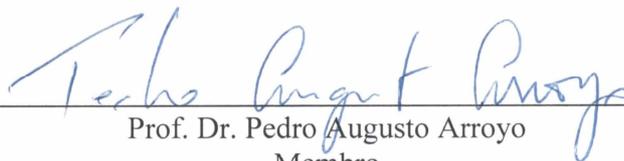
Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por **Camila de Oliveira Garrido Castanhari** perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Bioenergia em 28 de maio de 2013.

### COMISSÃO JULGADORA



---

Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani  
Orientador/Presidente



---

Prof. Dr. Pedro Augusto Arroyo  
Membro



---

Profª Drª Eneida Sala Cossich  
Membro

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

C346a Castanhari, Camila de Oliveira Garrido  
Aplicação de técnicas de avaliação do ciclo de vida na produção do biodiesel a partir de óleo de soja / Camila de Oliveira Garrido Castanhari -- Maringá, 2013.  
49 f.: il., color., figs., tabs.  
Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2013.

1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Biodiesel.
2. Óleo de soja.
3. Biodiesel. I. Ravagnani, Mauro Antonio da Silva Sá, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia química. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.

CDD 21.ed. 665.3

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani, pela confiança, orientação, acompanhamento e revisão deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual de Maringá, por todos os ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Lúcio Cardozo Filho pelo apoio e pela oportunidade de afastamento para a capacitação.

Aos meus pais, pela minha formação e pela ajuda e incentivo em todos os momentos.

Aos meus irmãos e marido pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos que de uma forma ou de outra me apoiaram.

## RESUMO

Devido à crise mundial de energia, principalmente com relação aos derivados de petróleo, que influencia todas as regiões do mundo, muito esforço tem sido dedicado ao estudo e produção de combustíveis renováveis. Por este motivo, o biodiesel consolidou-se como uma alternativa ao uso específico do óleo diesel. O objetivo deste trabalho constituiu-se na aplicação de técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida para produção de biodiesel a partir do uso do óleo de soja pela via metálica, considerando-se aspectos ambientais para produção deste biocombustível na etapa do processo de transesterificação. Para tanto, foram utilizadas as técnicas de análise de energia incorporada e análise de intensidade de fluxo de materiais. Os resultados mostram que na etapa transesterificação a utilização do óleo de soja e metanol causam impactos significativos no processo e os demais aspectos envolvidos possuem um nível de agressão ao ambiente muito inferior que os listados anteriormente. A sustentabilidade da produção de biodiesel de soja depende do emprego racional dos recursos nos seus processos de produção agrícola, transporte e processamento. É importante planejar um consumo menor de materiais, água e combustíveis fósseis. A futura aceitação e viabilidade do biodiesel estão ligadas à integração da produção de biocombustíveis com a produção diversificada de alimentos, tirando-se proveito dos co-produtos e aumentando-se a reciclagem interna de materiais e energia nos sistemas de produção e processamento de alimentos bem como sistemas de produção orgânicos ou com aplicação de conceitos agroecológicos.

**Palavras- chave:** Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Óleo de Soja, Biodiesel

## ABSTRACT

Due to the global energy crisis, particularly with respect to petroleum derivatives, great efforts have been devoted to the study and production of renewable fuels. As a result, biodiesel fuel has become an important alternative to the specific use of diesel fuel. The aim of this study is to apply Life Cycle Assessment techniques to biodiesel fuel production from soybean oil via methylic route considering environmental aspects during the process of transesterification. Techniques for embodied energy analysis and analysis of material intensity flow were used. Results show that the use of soybean oil and methanol during transesterification causes significant impacts on the process. The other aspects involved cause less harm to the environment than those previously listed. Sustainability of biodiesel production from soybean depends on the use of rational resources in the process of soybean production, transportation, and processing. It is important to plan the use of less materials, water, and fossil fuels. Future acceptance and viability of biodiesel fuel are connected to the integration of biofuel production with the diversified production of food, taking advantage of co-products, and increasing internal recycling of materials and energy in food production and processing systems as well as organic food production systems or the application of agroecological concepts.

**Key words:** Life Cycle Assessment (LCA), Soybean Oil, Biodiesel Fuel

## LISTA DE FIGURAS

Figura1: Cenário Produtivo da Soja- Safra 10/11. (fonte: EMBRAPA 2011).....	7
Figura2: Fluxograma de Produção de Biodiesel. (fonte: RIBEIRO 2004).....	8
Figura3: Esquema do processo de Transesterificação. (fonte: PARENTE 2003).....	15
Figura4: Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço. (fonte: AZAPAGIC)...	23
Figura5: Fluxograma da ACV.....	25
Figura6: Fases da Avaliação do Ciclo de Vida. (fonte: FERRÃO 1998).....	26
Figura7: Escopo (limites) da ACV da produção de Biodiesel.....	27
Figura8: Etapas do ciclo de vida de um produto. (fonte: AZAPAGIC 1999).....	37
Figura9: Uma visão geral da tela do assistente. (fonte: Manual do Simapro7).....	38
Figura10: Limite do sistema, processo considerado na ACV.....	39
Figura11: Combustíveis fósseis representados por excedente de energia (MJ) .....	40
Figura12: Mudanças climáticas com unidade expressa em DALY (incapacidade de ajustes de anos de vida).....	41
Figura13: Ecotoxicidade (fração potencialmente afetada, PAF*m <sup>2</sup> yr).....	45

Figura14: Acidificação/eutrofização (fração de potencialidade de desaparecimento, PDF*m <sup>2</sup> yr) .....	46
Figura15: Ecoindicador referente ao fluxo de materiais e energia.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela1: Motivações para a produção de biodiesel e fontes de matéria- prima por região brasileira. (fonte:PARENTE 2003).....	13
Tabela 2: Evolução da área plantada, produção e produtividade da soja.....	16
Tabela 3: Dados do inventário para produção de 100.000 L de biodiesel/dia $\cong$ 87.500 kg.....	35
Tabela 4: Resultado de Avaliação de Impacto para Produção de 1Kg de Biodiesel de Soja via transesterificação.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
ANP	Agência Nacional do Petróleo
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
PRO biodiesel	Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel
MAD	Mistura de álcool no diesel
COPPE	Coordenação de Programas de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia
UFRJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
TECBIO	Tecnologias Bioenergéticas
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial
TECPAR	Instituto de Tecnologia do Paraná
CERBIO	Centro de Referencia em Biocombustível
UFBA	Universidade Federal da Bahia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
B100	Biodiesel puro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and materials
ISO	International Organization for Standardization
CEN	Comite Europeen de Normalisation
L.I.I.	Límpido e Isento de Impurezas
MRI	Midwest Research Institute
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
OTA	Office of Technology Assessment
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
TC	Comitê Técnico
NBR	Normas Brasileiras

EMC	Éster Metílico de Óleo de Colza
LCA	Life Cycle Assessment
MJ surplus	Energia excedente MJ por ano
DALY	Incapacidade de ajuste dos anos de vida
PDF	Fração de potencialidade de desaparecimento
PAF	Fração potencialmente afetada
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio

## Sumário

AGRADECIMENTOS .....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	x
SUMÁRIO.....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	4
2.1 O Biodiesel.....	4
2.1.1 Processo de Transesterificação.....	8
2.1.2 Impactos Ambientais da Produção de Biodiesel.....	10
2.1.3 Cadeia de Produção de Biodiesel de Óleo de soja.....	11
2.2 Desenvolvimento Sustentável.....	10
2.3 Biocombustíveis- contexto Brasil .....	12
2.3.1 Potencial de óleos vegetais no Brasil.....	12
2.4 Potencialidade da soja no Brasil.....	14
2.5.- Impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de soja .....	16
2.6- Panorama do Biodiesel no Brasil.....	17
2.7 Histórico da ACV.....	19
2.8 Filosofia da ACV .....	22
2.9 Aspectos Metodológicos da ACV .....	25
2.10 Análise do ciclo de vida para o biodiesel da soja.....	30
2.11 Análise da energia incorporada .....	31
2.12 Análise de intensidade de fluxo de materiais.....	31
3. METODOLOGIA.....	32
3.1 Métodos .....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	35
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	43
6. REFERENCIAS.....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O óleo diesel é de vital importância no setor econômico de um país em desenvolvimento. A alta demanda de energia no mundo industrializado e no setor doméstico, bem como os problemas de poluição causados devido ao vasto uso desses combustíveis, tem resultado em uma crescente necessidade de desenvolver fontes de energias renováveis sem limites de duração e de menor impacto ambiental que os meios tradicionais existentes, estimulando, assim, recentes interesses na busca de fontes alternativas para combustíveis à base de petróleo.

Por este motivo, o biodiesel consolidou-se como uma alternativa ao uso específico do óleo diesel. A adição de biodiesel ao diesel mineral nas mais diversas percentagens é a estratégia utilizada para, paulatinamente, substituir a queima do combustível fóssil.

O Brasil possui uma grande diversidade de matérias-primas potenciais para a produção do biodiesel (óleo de soja, girassol, colza, pinhão manso, gordura animal, óleos utilizados em frituras, etc.).

No caso do Brasil, a demanda de biodiesel visa a atender basicamente o setor de transportes, que representa um enorme potencial de utilização desse biocombustível. A diminuição no consumo de diesel mineral tem também um importante aspecto, que é a diminuição de emissões dos óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), pois o biodiesel puro não contém enxofre. Mundialmente falando, as mesclas de diesel com biodiesel adequadamente especificado atingem teores de até 20 % (B20) e podem ser utilizadas sem problemas operacionais ou de desempenho em motores convencionais, sem qualquer ajuste ou modificação.

O processo de conversão de óleos vegetais em biodiesel mais conhecido é o que se utiliza da transesterificação em meio alcalino, fazendo-se reagir os triglicerídeos do óleo com um álcool (metanol ou etanol), produzindo glicerina e ésteres dos ácidos graxos que compõem o óleo vegetal. Como o Brasil possui uma grande produção industrial de etanol, esse é o reagente que é mais interessante para o processo, muito embora a atual situação econômica busca levar a produção de etanol para o mercado exterior. Em outros casos, utiliza-se metanol, que é praticamente todo importado.

A transesterificação acontece em três reações consecutivas e reversíveis, com di e monoglicerídeos como intermediários, e as proporções estequiométricas são três moles de álcool para um mol de triglicerídeo do óleo vegetal. Para aumentar o rendimento da reação algum excesso de álcool é recomendável, auxiliando na etapa de separação dos ésteres de glicerol.

Para se avaliar como a reação de transesterificação está impactando o ambiente é necessário se aplicar técnicas de avaliação do ciclo de vida ( ACV) que é uma avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo à disposição do produto final. A avaliação do ciclo de vida de produtos é, na verdade, uma ferramenta técnica que pode ser utilizada com uma grande variedade de propósitos. As informações coletadas na ACV e os resultados de sua análise e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisões, na seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação de desempenho de projetos ou reprojets de produtos ou processos e/ou planejamento estratégico.

A ACV encoraja as indústrias a considerar as questões ambientais associadas aos sistemas de produção: insumos, matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso, reciclagem. Pode-se dizer também, que ela ajuda a identificar oportunidades de melhoramentos dos aspectos ambientais de uma empresa.

A produção e uso de biodiesel têm se tornado um tema de grande importância no cenário político e econômico do país. Assim, um estudo sobre a viabilidade ambiental da produção deste biocombustível se torna importante, tendo em vista as questões como vantagens ambientais, principalmente o estudo de possíveis fontes de energia que sejam menos poluentes. Com esta perspectiva decidiu-se estudar a produção de biodiesel a partir de oleaginosas. O óleo de soja utilizado neste estudo está entre as oleaginosas mais utilizadas para produção de biodiesel.

O objetivo geral deste trabalho constitui-se na aplicação de técnicas de Avaliação de Ciclo de Vida para produção de biodiesel a partir do uso do óleo de soja pela via metílica, considerando aspectos ambientais para produção deste biocombustível.

Como objetivos específicos tem-se:

- Um maior conhecimento sobre condições ótimas para estar transformando o óleo vegetal em biodiesel.

- Conhecimento sobre o principal processo de produção de biodiesel que é a reação de transesterificação.

- Utilização do software Sima-pró para aplicação da ACV

- Neste projeto estudou-se os aspectos para produção de biodiesel a partir do óleo de soja, utilizando metanol. O programa computacional SimaPro foi utilizado para aplicação das técnicas de ACV.

Como resultado final do trabalho foi feita a incorporação de critérios ambientais ao processo citado.

A crescente necessidade de se avaliar opções para uso de novos combustíveis que contribuam para uma melhora do meio ambiente, tem tornado necessária realização de estudos que apontem de forma efetiva uma opção racional e sustentável do ponto de vista ambiental.

Tendo em vista esta necessidade, a Avaliação do Ciclo de Vida para o Biodiesel de Oleaginosas torna-se um estudo relevante que pode contribuir de forma significativa para se estabelecer opções de combustíveis mais atrativas ambientalmente.

Este estudo visa realizar a Avaliação do Ciclo de Vida do Biodiesel obtido a partir do óleo de soja e se justifica pelos resultados a serem gerados, os quais se espera permitir seu uso em futuros trabalhos de ACV relacionados a biocombustíveis. Com o intuito de avaliar as diversas etapas do ciclo de vida da produção do Biodiesel de Oleaginosas, especificamente a soja, este estudo pode auxiliar na aquisição de um maior conhecimento a respeito da magnitude dos aspectos ambientais e do consumo energéticos deste sistema.

Deste modo, a realização deste estudo de pesquisa se justifica por fornecer dados nacionais para outros estudos de ACV, permitindo sua realização ou melhorando sua qualidade e confiabilidade. Estas considerações auxiliam a busca pela melhoria de desempenho ambiental neste ciclo de vida e o planejamento de ações de pesquisa para busca de processos de menor impacto.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1- O Biodiesel

Existem diversas definições para biodiesel (MINISTÉRIO DE AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO): “Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que é obtido por meio do processo da transesterificação. Pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais, existindo dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras.”

Por outro lado, a Lei nº. 11.097, de 13 de janeiro de 2005 define o biodiesel da seguinte maneira: “O biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores de combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”.

Antes da primeira crise do petróleo já haviam sido investigados os óleos vegetais e animais como combustíveis para motores do ciclo do diesel. Durante a exposição de Paris de 1900, foi apresentado pela companhia francesa Otto uma experiência bem sucedida do uso de óleos vegetais em um pequeno motor diesel na qual foi utilizado o óleo de amendoim.

Durante a Segunda Guerra Mundial, também são encontradas experiências de uso de óleos vegetais como combustível. Durante esta época, por exemplo, no Brasil houve a proibição da exportação do óleo de algodão, pois este produto era visto como um potencial substituto do óleo diesel. Na China produziu-se gasolina e querosene a partir do processo de craqueamento, utilizando o óleo de tungue e de outras matérias-primas oleaginosas (KNOTHE et al, 2006).

Em Holanda (2004) são apresentadas algumas das matérias-primas de origem vegetal e animal que podem ser utilizadas na produção do biodiesel, tais como óleos de origem vegetal (soja, a mamona, o dendê, o babaçu, o girassol, o algodão, o amendoim, etc) e as de origens animais (sebo bovino, os óleos de peixes, gordura de frango). Mesmo óleos e gorduras residuais, resultantes de

processamento doméstico, comercial e industrial podem ser utilizados como material-prima para produção do biodiesel.

A técnica mais utilizada para a obtenção do biodiesel é o processo de transesterificação, em que é misturado o óleo vegetal ou gordura animal com um álcool metílico ou etílico na presença de um catalisador, hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio (NaOH ou KOH) para acelerar a reação. A glicerina e o biodiesel são os produtos obtidos após a reação. A Figura 1 mostra esquematicamente a obtenção do biocombustível a partir da utilização da transesterificação (RIBEIRO 2004).

Knothe *et al.*(2006) apresenta a definição de todo o processo apresentado na Figura 1.

- Após a definição da matéria-prima a ser utilizada no processo produtivo do biodiesel, vem a fase de esmagamento na qual será realizada a extração do óleo.
- O próximo passo é levar a mistura catalítica de álcool e catalisador ao reator, onde em contato com óleo, dar-se-á início ao processo de transesterificação. Nesse processo a mistura é agitada por aproximadamente 1 hora a 60°C.
- O produto resultante após a reação deve passar pelo processo de separação de fases, a qual é feita por meio de decantação ou centrifugação. Nesta fase o glicerol é removido dos ésteres do álcool. A separação se dá em duas fases: leve e pesada. A fase pesada é responsável pela produção de glicerina e a fase leve pela produção de biodiesel.
- De Ambas as fases precisam recuperar o álcool que se encontra tanto na glicerina quanto nos ésteres por meio do processo de evaporação que ajuda que sejam eliminados constituintes voláteis facilitando a recuperação das partículas de álcool. Este álcool então pode ser reutilizado no processo.
- Os ésteres ainda passam por uma etapa de neutralização, na qual se adiciona um ácido ao produto para neutralizar possíveis resíduos de catalisador e quebrar o sabão que tenha sido formado durante o processo.
- Tem-se ainda a fase de lavagem aquosa, com o objetivo de remover resíduos de catalisador, sabões, sais, álcool ou glicerina do produto final. Por fim, a água residual é removida por evaporação a vácuo.
- A fase glicerínica contém 50% de glicerol. O restante é referente à presença de álcool, catalisador e sabões. No processo produtivo que corresponde à depuração da glicerina, a glicerina bruta é submetida ao processo de destilação a

vácuo para se obter a glicerina destilada e o resíduo glicérico. No caso dos ésteres, a purificação é realizada por meio da centrifugação, de onde surge posteriormente o biodiesel puro (B100).

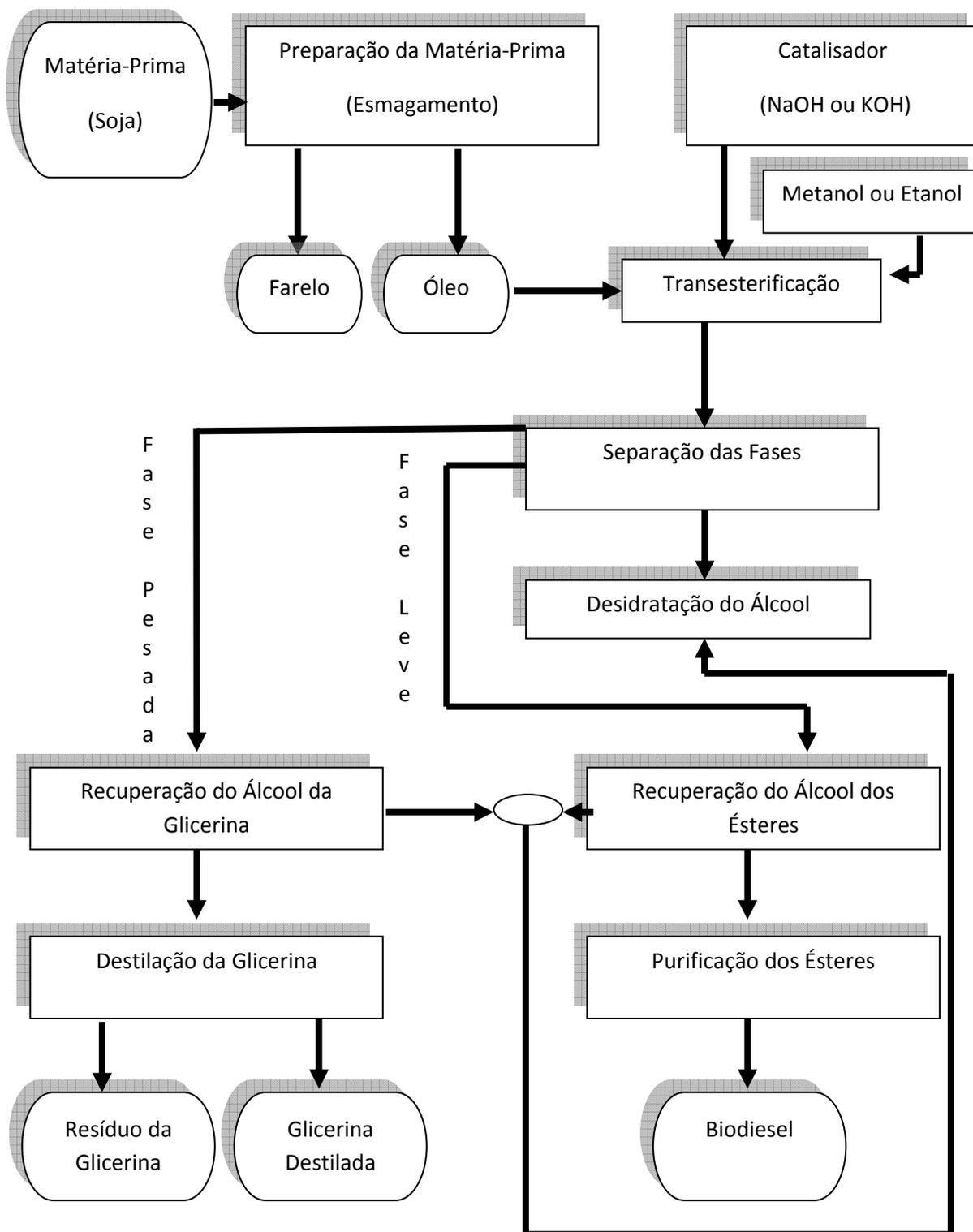


Figura 1: Fluxograma de Produção do Biodiesel  
Fonte: Ribeiro (2004).

Excessos de Álcool Recuperado

### 2.1.1- Processo de Transesterificação

A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Consiste numa reação química dos óleos vegetais ou gorduras animais com o etanol ou o metanol, estimulada por um catalisador, pode ser realizada por catálise ácida, básica ou enzimática homogênea ou heterogênea. Da reação também se extrai a glicerina, produto com aplicações diversas na indústria química.

O processo de transesterificação consiste em três reações reversíveis consecutivas que envolvem a conversão de triglicerídeos em diglicerídeos e a conversão de diglicerídeos em monoglicerídeos. Finalmente, os glicerídeos são convertidos em glicerina e ésteres de álcoois de cadeia curta. A Figura 2 mostra o esquema do processo de transesterificação do óleo vegetal.

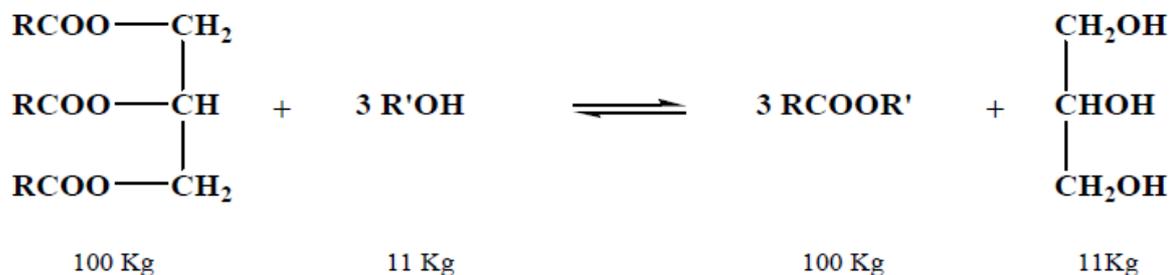


Figura 2: Esquema do processo de Transesterificação (PARENTE, 2003)

As principais variáveis de processo na transesterificação são: temperatura de reação, proporção do álcool em função da quantidade de óleo a ser transformada, tipo e concentração do catalisador, eficiência na mistura dos reagentes e pureza dos reagentes. Na reação de transesterificação são usados álcoois de cadeia curta como o metanol, etanol, propanol e butanol.

O processo mais usado na transformação dos óleos vegetais em biodiesel (FEUGE, GROSE, 1949) é feito pela via metílica com catálise básica alcalina por suas características de custo relativamente baixo dos catalisadores e a eficiência na conversão (alto nível de conversão em pouco tempo). A principal desvantagem

desse processo é que o óleo e o álcool devem estar substancialmente anidros, já que a presença de água favorece a reação de saponificação.

A formação de sabão consome o catalisador reduz a eficiência catalítica e também causa aumento na viscosidade do produto, a formação de géis e a dificuldade para separação e reaproveitamento do glicerol (WRIGHT *et al.*, 1954). É preciso considerar a utilização do glicerol, gerado como sub-produto. O uso economicamente viável do glicerol tem se tornado uma preocupação, pois corresponde a 30% em massa do biodiesel produzido (FUKUDA *et al.*, 1999).

Uma possível aplicação do glicerol pode ser o preparo de membranas poliméricas à base de poliésteres, obtidos através da reação do glicerol com os ácidos dicarboxílicos, além da produção de álcool alílico.

Nas reações de transesterificação em meio ácido são utilizados principalmente os ácidos sulfúricos, fosfóricos, clorídricos e ácidos sulfônicos (FREEDMAN *et al.*, 1986). Entretanto, foi observado que o etanol fornece produtos com menor viscosidade em menor tempo que o metanol, ambos álcoois testados em condições de 100% de excesso. Por outro lado, embora não tivesse incidência nem na conversão final nem na viscosidade do produto, o tempo de reação diminuiu conforme o aumento da temperatura de reação, tornando-se esta uma variável de processo relevante, pois, quanto maior for a temperatura, maior será o custo do processo pelo consumo de energia envolvido. Para este processo, a principal desvantagem é que ele ocorre cerca de 4000 vezes mais lentamente em relação à catálise básica com a mesma quantidade de catalisador e necessita de aquecimento. Em contrapartida, ela é mais adequada para glicerídeos com alta quantidade de ácidos graxos livres e maior quantidade de água, como o óleo de dendê e os óleos residuais (AKSOY *et al.*, 1988).

A qualidade do biodiesel é muito importante para o sucesso da comercialização deste combustível (KNOTHE, 2001). O controle da qualidade do produto deve ser rigoroso em relação à reação completa levando à obtenção do éster mono-alquilado, remoção da glicerina livre, a remoção do catalisador residual e do álcool e a ausência de ácidos graxos livres (DORADO *et al.*, 2004). É preciso, haver um controle rigoroso para evitar a reação de saponificação, pois cada tipo de óleo requer condições de operação específicas para obter um produto de qualidade garantida.

A qualidade da matéria-prima usada para a produção do biodiesel também é outro fator relevante que deve ser levado em consideração. Os óleos vegetais geralmente contêm, além dos triglicerídeos, água, fosfolípidos e outras impurezas. A água presente tem efeitos negativos na transesterificação dos glicerídeos com álcool usando catálise ácida ou básica (DEMIRBAS, 2002).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio de Portarias e Resoluções, estabelece as especificações para a comercialização de combustíveis automotivos em todo o território nacional e as obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade do produto.

### **2.1.2- Impactos Ambientais da Produção de Biodiesel- Processo de Transesterificação**

Na etapa de produção do biodiesel devem ser considerados os impactos do uso das matérias primas envolvidas no processo de transesterificação. Assim, para uma maior compreensão deste sistema, deve se fazer o mapeamento dos fluxos de produção e uso dos produtos que compõem este processo.

Para o processo de transesterificação, os materiais auxiliares considerados são o catalisador utilizado que, na maioria dos processos, é o hidróxido de potássio (KOH), e o álcool utilizado no processo, o metanol (CH<sub>3</sub>OH), além do óleo vegetal, sobre o qual já foram apresentados os principais impactos para a sua produção.

Analisando a cadeia de produção da transesterificação, considera-se que os principais impactos a serem associados provêm do metanol, pois o catalisador é utilizado em quantidades muito pequenas, quase insignificantes, no processo como um todo. Já o metanol deve ser considerado, pois é produzido a partir de gás natural, gás carbônico e vapor d'água. As principais fontes de energia utilizadas na planta de produção de metanol são a elétrica e o vapor (gerado a partir da queima de gás natural). O gás natural é fornecido pela indústria de petróleo e chega à planta de produção de metanol através de um gasoduto. É em seguida comprimido por um compressor alternativo que é acionado por um motor elétrico.

O maior impacto causado pelas emissões na cadeia do biodiesel provém da cadeia de produção do metanol.

### **2.1.3- Cadeia de Produção de Biodiesel de óleo de soja**

Os principais elos da cadeia do biodiesel derivado de óleos vegetais são: a produção do grão, a extração do óleo, a produção do biodiesel, a distribuição e a revenda ao consumidor. O biodiesel é mais comumente produzido através do processo de transesterificação, que consiste na reação química de um óleo vegetal com um álcool na presença de um catalisador, usualmente hidróxido de sódio ou de potássio (FERNANDO *et al.*, 2007). Como resultado, obtém-se ácidos graxos, glicerina e biodiesel (éster metílico ou etílico, conforme o álcool utilizado - metanol ou etanol, respectivamente) (MEIRELLES, 2003). A glicerina é um co-produto de alto valor que deve ser considerado na análise econômica da cadeia do biodiesel (ROZAKIS e SOURIE, 2005). O biodiesel produzido será inevitavelmente inserido na logística dos combustíveis. Assim, terá de ser transportado para os locais de estocagem de diesel das grandes distribuidoras de produtos refinados, onde será misturado ao mesmo.

## **2.2- Desenvolvimento Sustentável**

A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, no relatório *Our Common Future* (WCED, 1987), definiu o desenvolvimento sustentável como aquele capaz de atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades. Assim, a sustentabilidade de qualquer atividade deve ser avaliada considerando-se três eixos básicos: a) o econômico, que tradicionalmente é o único levado em consideração e se refere à rentabilidade econômica ao longo do tempo; b) o ecológico, que avalia a manutenção do ecossistema afetado pela atividade ao longo do tempo; c) o social, que considera a compatibilidade da gestão e da organização do sistema com valores éticos e culturais do grupo e da sociedade envolvidos (FERRAZ, 2003). Desta forma,

a sustentabilidade somente será possível se os marcos de referência para a atividade humana, isto é, os paradigmas culturais da sociedade atual forem alterados (ORTEGA, 2003).

A natureza funciona em ciclos de produção e consumo dos recursos energéticos. O desenvolvimento, como é visto atualmente, é apenas a etapa de consumo desses ciclos. Por isso, a sobrevivência de um povo deve estar ligada à sustentabilidade de seus sistemas de produção agrícolas e industriais, de onde se deve obter retorno durante longo período de tempo e sem resultar em prejuízos ambientais aos ecossistemas. Sendo assim, o desenvolvimento sustentável foi um compromisso assumido por diversos governos nas Conferências Mundiais das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizadas no Rio de Janeiro em 1992 (ECO 92) e reafirmadas em Johannesburgo em 2002 (RIO+10).

Avaliando-se toda a cadeia de produção, industrialização e consumo do biodiesel de soja, pode-se mensurar e ajudar a propor alternativas de projetos de preservação e de diminuição de emissões dos gases que provocam o efeito estufa, o qual é responsável por grande parte das mudanças climáticas no planeta.

## **2.3- Biocombustíveis- contexto Brasil**

### **2.3.1- Potencial de óleos vegetais no Brasil**

Existem várias opções de matérias-primas para a produção de biodiesel. No Brasil, o óleo de soja já é produzido em uma escala adequada para a produção deste biocombustível. As outras oleaginosas como o girassol, amendoim, algodão, palma, pinhão manso, babaçu e a mamona, poderão ser utilizadas pelo programa de produção de biodiesel do governo, já que a cultura dessas oleaginosas pode alcançar uma escala economicamente viável. Até o presente momento o álcool mais empregado na fabricação de biodiesel é o metanol. No Brasil, o etanol de cana-de-açúcar tem um grande potencial de uso, pois ele alia não toxicidade com disponibilidade e origem renovável, mas existem complicações como a menor reatividade que o metanol na reação de transesterificação.

O Brasil, pelo seu potencial climático, pode ser considerado como um dos países mais propícios para a exploração de biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos. Além da extensa área ocupada pelas atividades agropecuárias, o país dispõe, ainda, de cerca de 140 milhões de hectares agricultáveis, o que faz com que seja praticamente o único país do mundo capaz de expandir sua produção, incluindo a de oleaginosas. No país, são cultivadas diversas espécies oleaginosas que possuem potencial para serem utilizadas como matéria-prima na produção de biodiesel, tais como a soja, a mamona, o girassol e o dendê. A Tabela 1 apresenta as motivações para a produção de biodiesel e fontes de matéria-prima por região brasileira (PARENTE *et al.*, 2003).

Tabela1: Motivações para a produção de biodiesel e fontes de matéria- prima por região brasileira.

Região	Principais Motivações	Matérias- Primas
Amazônia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequenas produções localizadas nas chamadas ilhas energéticas.</li> <li>• Exploração de babaçuais, através do aproveitamento integral do coco para fins químicos e energéticos.</li> <li>• Geração de renda através de lavouras associadas aos babaçuais ( exemplo: amendoim, girassol).</li> </ul>	Óleos de palmeira nativas, plantios de dendê em áreas de reflorestamento. Óleos de babaçu, de amendoim e outros, provenientes de culturas associadas
Semi árido Nordeste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração, ocupação e renda.</li> <li>• Erradicação da miséria.</li> </ul>	Lavouras familiares de plantas oleaginosas . Ricinicultura ( mamona).
Centro Sul e Centro Oeste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria nas emissões veiculares nos grandes centros urbanos.</li> <li>• Regulação nos preços de óleo de soja</li> </ul>	Soja
Todas as regiões	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor aproveitamento de materiais</li> </ul>	Óleos residuais de frituras e de resíduos industriais, matérias graxas extraídas de esgotos industriais e municípios.

Fonte: Parente *et al.*, 2003

## 2.4 Potencialidade da soja no Brasil

A soja é caracterizada como uma leguminosa proveniente do sudeste asiático, que possui nome científico *Glycinemax*. Por possuir características funcionais, alto teor proteico em seus grãos (38%) em média e fácil adaptação aos diversos tipos de clima, tais fatores a colocam entre as principais oleaginosas cultivadas do mundo (Bertrand *et al.*, 1987). A semente da soja é muito rica em substâncias proteicas e graxas, é rico em ácidos graxos insaturados, contendo em maior proporção o ácido linoléico (BOCKISCH, 1998).

Durante os anos 1920 e 1940, tanto nos Estados Unidos quanto no Brasil a soja foi utilizada com vista a avaliar seu desempenho como forrageira, só posteriormente foi plantada com fins de destinar o grão às indústrias de farelos e óleos vegetais (WEHRMANN, 1999).

O cultivo da soja tem grande importância econômica no Brasil e pode ser justificada, por exemplo, por ter sido uma das culturas que maior crescimento apresentou no cultivo e no segmento agroindustrial a partir da segunda metade do século XX no país (BARBOSA & ASSUMPÇÃO, 2001).

Por um lado a soja é vista como inovadora de fronteiras, levando progresso e desenvolvimento ao país.

Outra visão revela que o modelo através do qual foram implantadas culturas comerciais no Brasil, inclusive a soja, excluiu produtores familiares, concentrou a posse de terras e aumentou o tamanho das propriedades. Este modelo foi chamado de modernização conservadora e resultou na modernização dos processos produtivos mantendo a estrutura agrária vigente, isto é, os latifúndios e a produção patronal (EHLERS, 1994).

No setor agrícola brasileiro a cultura da soja é a que apresentou maior crescimento durante últimas três décadas, sendo cultivada em 49% da área plantada em grãos em todo território nacional. O aumento produtivo da cultura está diretamente relacionado com os avanços tecnológicos, aliado ao manejo e eficiência dos produtores. Sua cultura é desenvolvida em maior escala nas regiões Centro-Oeste e Sul do país. Desta maneira a soja se transformou em um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial (MAPA, 2011).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011), o Brasil é o segundo maior produtor de soja, sendo que na safra 2010/2011 foi responsável pela produção de 75,0 milhões de toneladas do grão, com uma área plantada de 24,20 milhões de hectares, ficando atrás apenas dos Estados Unidos que contabilizou uma produção de 90,6 milhões de toneladas do produto no mesmo período em uma área de 31,0 milhões de hectares. Em termos mundiais a produção da soja foi em torno de 263,7 milhões de toneladas produzidos em uma área plantada de 103,5 milhões de hectares, isto equivale a dizer que o Brasil foi responsável por 28,44 % da produção mundial, e que a lavoura ocupa no país o equivalente a 23,38 % do total da área plantada no mercado mundial.

A Figura 3 mostra a produção de soja do Brasil e do mundo.

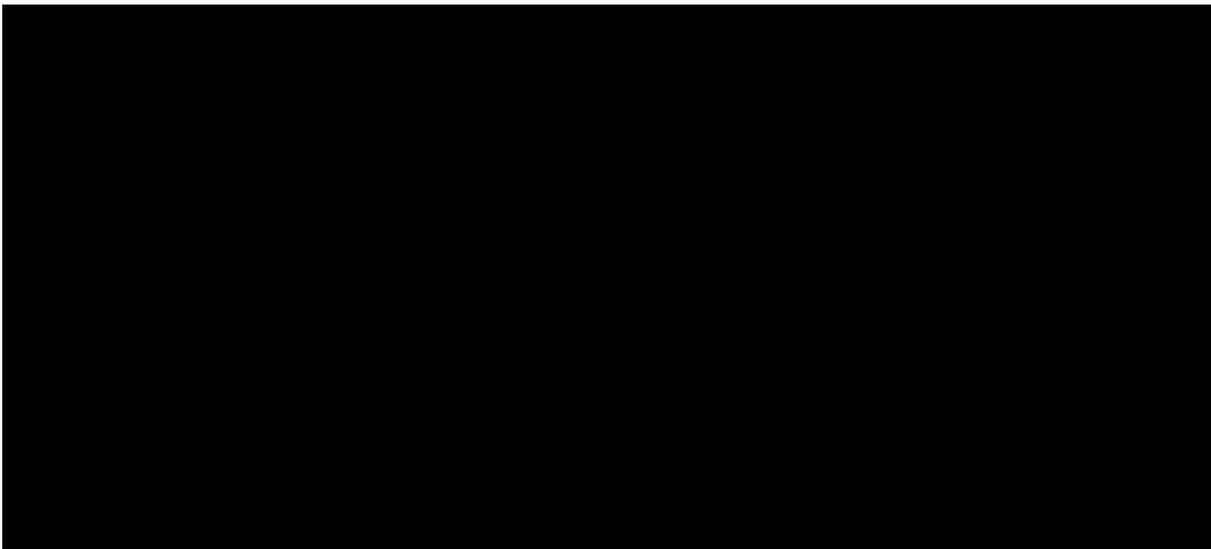


Figura 3: Cenário Produtivo da Soja - Safra 10/11 (Embrapa, 2011).

A Tabela 2 fornece dados relativos à evolução da soja no cenário nacional, onde é possível verificar avanços significativos principalmente no que tange à área plantada.

Tabela 2 – Evolução da área plantada, produção e produtividade da soja.

Safra	Área Plantada (Milhões Ha)	Produção (Milhões de Toneladas)	Produtividade (Toneladas/Ha)
99/00	13,62	32,89	2,41
00/01	13,97	38,43	2,75
01/02	16,39	42,23	2,57
02/03	18,47	52,01	2,81
03/04	21,38	49,79	2,32
04/05	23,30	52,30	2,24
05/06	22,75	52,02	2,41
06/07	20,68	58,39	2,82
07/08	21,31	60,01	2,81
08/09	21,74	57,16	2,62
09/10	23,47	68,68	2,92
10/11	24,08	75,00	3,11

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (2011).

Conforme estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011) com o plantio encerrado em dezembro/10, a quarta pesquisa da safra 2010/11 indica uma área de plantio em 24,08 milhões de hectares. Este resultado corresponde a um crescimento 2,6% ou 611,0 mil hectares, superior à da safra 2009/10, quando foram cultivados 23,47 milhões de hectares, constituindo-se na maior área cultivada com a oleaginosa, superando o recorde até então da safra 2004/05, com 23,3 milhões de hectares.

## 2.5.- Impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de soja

A cadeia atual de produção, industrialização e consumo do biodiesel de soja vem gerando problemas ambientais, econômicos e sociais. No Brasil, os problemas resultantes da monocultura da soja têm se tornado cada vez mais críticos, entre os quais se pode citar principalmente a destruição dos ecossistemas para dar lugar às novas lavouras de soja, o declínio da fertilidade do solo, contaminação de pessoas e animais por produtos tóxicos, a expulsão de pequenos agricultores de suas terras, contaminação do solo e da água, erosão com posterior

assoreamento dos rios, a diminuição da biodiversidade, além das mudanças climáticas relacionadas ao desmatamento e às queimadas. Estes impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de soja em larga escala, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, vêm sendo amplamente relatados por vários pesquisadores e por importantes organizações não governamentais de proteção ambiental (ORTEGA 2002). O biodiesel de soja vem ocupando um papel central na discussão dos projetos de produção de biocombustíveis que vêm sendo implantados no Brasil. Em virtude da futura escassez de combustíveis fósseis e das preocupações com a diminuição nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o governo brasileiro vislumbra uma grande oportunidade para expandir a produção e exportação de biocombustíveis. A substituição de combustíveis fósseis por renováveis deve reduzir os impactos ambientais resultantes da queima do petróleo. Entretanto, os benefícios sociais e ambientais, no caso do Brasil, vão depender da escala e do modo de produção da biomassa a ser utilizada para fins energéticos.

## **2.6- Panorama do Biodiesel no Brasil**

Foi a partir da invenção do motor diesel, pelo engenheiro Rudolph Christian Carl Diesel (1858-1913) no final do século 19, que se vislumbrou, pela primeira vez, a possibilidade de se usar óleos vegetais como combustível. Foi apenas na primeira década do século passado que o óleo diesel passou a ser produzido a partir do petróleo.

O Biodiesel possui as características de ser renovável e produzir menos poluentes que o diesel do petróleo. Por já existir uma indústria de produção de álcool no país, a adoção do biodiesel à base de etanol facilitaria a incorporação desse tipo de combustível à matriz energética brasileira.

Comparado ao óleo diesel derivado de petróleo, o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões líquidas de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas, além de reduzir em 90% a emissão de fumaça e praticamente eliminar as emissões de dióxido de enxofre. O uso exclusivo traz inúmeras vantagens, a começar pelo fato de ser um combustível totalmente nacional e 100% renovável. O

uso do biodiesel na sua forma pura diminui a emissão de dióxido de carbono em 46% e de material particulado em 68%. Se for usada a mistura B5, a redução de fumaça preta chega a 13%. (NOGUEIRA, *et. al*, 2002)

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis a frota nacional consome cerca de 40 bilhões de litros de óleo diesel. A meta do Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Probiobiodiesel), do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), e mais recentemente do Grupo de Trabalho Interministerial, coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, foi montar um amplo plano de produção desse novo biocombustível, com incentivo ao plantio de espécies oleaginosas. Esse combustível servirá como complemento ao óleo diesel comum e, futuramente, poderá ser usado de forma integral nos motores do ciclo diesel se houver oferta suficiente. Desde 1998, em Curitiba, vários ônibus de empresas associadas à Urbanização de Curitiba circulam na cidade com uma mistura de óleo diesel (89,4%), etanol (8%) e um aditivo à base de soja (2,6%), batizada de Mistura de Álcool no Diesel (MAD.). O aditivo utilizado foi fabricado e fornecido pela empresa Ecomat de Mato Grosso.

No Rio de Janeiro existem experiências realizadas pelo Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (ainda com a sigla COPPE que significa Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com o governo do estado, testou ônibus movidos a biodiesel feito com óleo reciclado doado pelos refeitórios universitários e pela rede de lanchonetes McDonald`s. Este estudo faz parte do Projeto Biodiesel Brasil.

Entre as iniciativas de empresas, a Petrobras desenvolve seu programa de biodiesel com uma forte preocupação com o social, prevendo a compra do óleo de pequenos produtores que poderão usar a água dos poços perfurados pela Petrobras, onde não foi encontrado petróleo, para irrigar as plantações (HOLANDA, 2004).

No Ceará, o projeto de desenvolvimento de biodiesel é liderado pela empresa Tecnologias Bioenergéticas (TECBIO), incubada no Parque Tecnológico da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC). Além disso, a partir de 2004, a frota de ônibus da empresa Guanabara, de Fortaleza, começou a ser abastecida com biodiesel à base de mamona produzido pela Tecbio. A expectativa dos

pesquisadores envolvidos no projeto é que seja criado um emprego para cada 2 hectares plantados, gerando um rendimento de R\$ 500,00 por hectare.

A Universidade Federal do Paraná vem desenvolvendo tecnologias para a produção de ésteres de óleo de soja, visando a suas misturas ao diesel, desde 1983. De janeiro a março de 1998, sob a coordenação do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), realizou-se em Curitiba uma experiência de campo com o uso monitorado de biodiesel, para uma frota de 20 ônibus urbanos que operaram normalmente com o novo combustível. No Paraná, os testes têm sido realizados com biodiesel obtido a partir de soja e álcool em função da grande disponibilidade destes produtos. O Paraná conta ainda com o Centro de Referência em Biocombustíveis (CERBIO), criado por meio de um convênio entre a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado e o Ministério da Ciência e Tecnologia, sendo responsável pelas pesquisas com biodiesel, tanto como aditivo ao diesel quanto em combinação com o etanol.

Na Bahia, no campus da Universidade Federal, a UFBA, está sendo desenvolvido um grande trabalho que tem obtido bastante êxito, com a construção de uma planta piloto com a capacidade de 5000000 litros de biodiesel por ano, que se encontra em operação na Escola Politécnica da Universidade. Essa planta foi construída para produção de biodiesel a partir de gorduras residuais e/ou óleos vegetais *in natura*, sendo financiada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com o apoio da Nordes Generation. Com esta planta piloto a Universidade atende uma gama de atividades como a preparação de biodiesel, testes dos combustíveis e misturas em motores estacionários e veiculares, a avaliação dos desgastes de motores e seus componentes, o estudo de reações fotoquímicas envolvendo gases de emissões veiculares, as análises e especificações de matérias primas, combustíveis, misturas e co-produtos, e novas aplicações para a glicerina.

## **2.7- Histórico da Análise do Ciclo de Vida (ACV).**

Com o desenvolvimento tecnológico e a crescente sofisticação nos processos de produção, o mundo intensificou a busca por formas alternativas de energia e a melhoria dos processos para aperfeiçoar a utilização dos recursos

naturais. Assim, diversos estudos e iniciativas foram empreendidos. Os primeiros trabalhos que aplicaram conceitos de ACV datam da década de 70 (processos produtivos e racionalização de fontes de energia não-renováveis).

O primeiro estudo do qual se tem referência foi desenvolvido no início dos anos 70 pela empresa Coca Cola, que contratou o Midwest Research Institute (MRI) para comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e selecionar qual deles se apresentava como o mais adequado do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. Este processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões utilizado pela Coca Cola, nesse estudo, passou a ser conhecido como Resource and Environmental Profile Analysis -REPA.

Através da contribuição da sociedade, que atribuiu cada vez mais importância às questões ambientais, houve a necessidade de desenvolver abordagens e ferramentas de gestão que possibilitassem às empresas (e, de uma maneira mais geral, às diversas partes interessadas da sociedade, como governo, institutos de pesquisas e outros) avaliar as consequências ambientais das decisões que se tomavam em relação aos seus processos ou produtos. Uma das dificuldades neste aspecto é a de comparar produtos ou processos distintos, do ponto de vista das suas consequências ambientais, pois esta tarefa é extremamente complexa em função da necessidade de estabelecer critérios comuns de comparação e da necessidade de uma abordagem completa, que se passou a chamar o ciclo de vida do produto.

Nos anos 80 a ACV ampliou a análise energética para além dos insumos energéticos e incluiu os estágios de uso final e gestão de resíduos na cadeia de processos.

O projeto Green Design (Projeto Verde), para aprimoramento da gestão da matéria prima e prevenção da geração de resíduos de 1992, desenvolvido pelo *Office of Thechnology Assessment* (OTA), focou o desenvolvimento de projetos de produtos que garantissem uma maior competitividade, mas, ao mesmo tempo, minimizassem os impactos ambientais e tivessem a aplicação dos conceitos da ACV como foco desta filosofia.

Passou-se a estudar a metodologia REPA agregando-se novos critérios que permitiram melhor análise dos impactos ambientais. Através de um estudo solicitado pelo Ministério do Meio Ambiente da Suíça, foi introduzido na metodologia

REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais. Em 1991, com base neste modelo, foram desenvolvidos os primeiros softwares específicos para os estudos de REPA, os Ökobase I e II. Nos anos posteriores, uma série de estudos de ACV foi realizada sobre os mesmos produtos ou serviços, mas utilizando modelos diferentes, e encontrou-se resultados distintos, o que proporcionou um questionamento acerca da sua interpretação, colocando em questão a sua validade. Contribuíram para esta questão o surgimento e proliferação dos chamados Rótulos Ambientais, que inicialmente eram atribuídos com base em apenas um aspecto ambiental do produto ou serviço, não levando em consideração todas as fases do ciclo de vida do produto.

Os resultados controversos dessas iniciativas de rotulagem conduziram à consideração da utilização da Avaliação do Ciclo de Vida como um dos critérios para o desenvolvimento da rotulagem ambiental. Assim, este novo uso da ACV, que tinha como premissa a comparação entre produtos, se tornava uma saída tecnicamente correta para o impasse dos rótulos ambientais e, ao mesmo tempo, mostrava a necessidade de se padronizar e sistematizar a ACV.

Visando esta necessidade, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) iniciou os primeiros trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da ACV e, em 1993, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou o Comitê Técnico TC 207 para elaborar normas de sistemas de gestão ambiental e suas ferramentas. Atualmente, o sistema ISO 14000 de normas internacionais sobre o meio ambiente apresenta um conjunto de normas específicas para padronizar os termos e os critérios para a elaboração e divulgação dos resultados da ACV. Estas normas são as da série ISO 14040 a ISO 14049. No Brasil, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou até o presente momento a versão da ISO 14.040, com as NBR ISO 14.040- Gestão Ambiental- Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura (ABNT NBR ISO 14040:2004); NBR ISO 14041 - Gestão Ambiental - Definição do Objetivo e Escopo e Análise de Inventário (ABNT NBR ISO 14041:2004); Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Avaliação de Impacto do ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14042:2004), e

NBR ISO 14041 - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Interpretação do ciclo de vida.

## 2.8- Filosofia da ACV

Segundo Chehebe (1998), a Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias primas elementares que entram no sistema do produto (berço) até a sua disposição final (túmulo).

A filosofia desta análise é identificar os impactos ambientais que poderiam ser causados desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto em estudo como forma de aprimorar econômica e ambientalmente o projeto de um produto, ou seja, aumentar sua ecoeficiência (OTA, 1992).

A ACV mostra informações a respeito das interações significativas entre o sistema do produto e o meio ambiente, funcionando como ferramenta de obtenção e compilação de informações. Pode ser aplicada na identificação de oportunidades de melhoria de desempenho, buscando a origem das principais contribuições de um ciclo de vida de produto os impactos ambientais potenciais. Uma vez que se sabe o quanto cada etapa contribui, pode-se proceder a ações de planejamento direcionadas à minimização dos aspectos. Outra aplicação desta ferramenta seria a comparação ambiental entre produtos de função equivalente. Assim, levantado o aspecto ambiental de um ciclo de vida, pode-se compará-lo a outro, a produtos distintos, de mesma função disponível no mercado, e também a comparação de um produto específico com um padrão determinado para aquele tipo de produto, como feito no caso dos rótulos e declarações ambientais. A ideia, neste caso, é realizar a avaliação de quais são os aspectos ambientais mais significativos, e geralmente quais seus respectivos impactos potenciais.

Os cinco estágios típicos do ciclo de vida de um produto são: extração de matéria-prima, processamento da matéria-prima, produção, uso final e gestão de resíduos. A Figura 4, a seguir, mostra os estágios do Ciclo de Vida de um Produto.

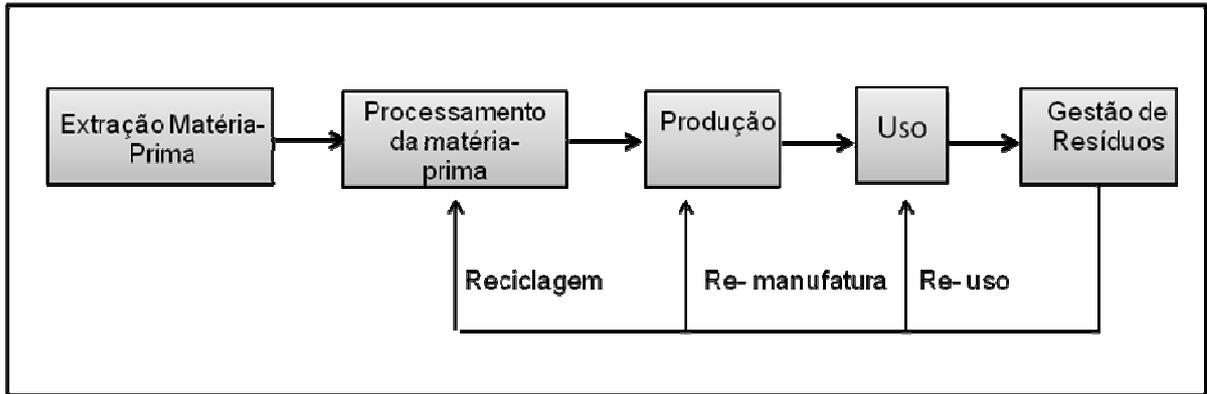


Figura 4: Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço.

Todo produto causa, de alguma forma, um impacto sobre o meio ambiente. Esse impacto pode ocorrer durante a extração das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação do produto, no próprio processo produtivo, na sua distribuição, no seu uso ou na sua disposição final.

A ferramenta de avaliação do ciclo de vida de produtos ou serviços estabelece vínculos entre os aspectos e categorias de impactos potenciais ligados ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia. É uma ferramenta técnica que pode auxiliar o gerenciamento e a tomada de decisão na estratégia ambiental de uma empresa ou instituição. Esta análise considera a produção de energia, os processos que envolvem a manufatura, as questões relacionadas com as embalagens, o transporte, o consumo de energia não renovável, os impactos relacionados com o uso, ou aproveitamento e o reuso do produto ou mesmo questões relacionadas com o lixo ou recuperação / reciclagem.

O estudo de ACV de um produto ou serviço deve consistir da definição de seu objetivo e escopo, da realização de um inventário que consiste de um levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões, etc.) durante todo o ciclo de vida, da identificação dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida e da interpretação dos resultados do estudo. A seguir é apresentado o fluxograma da Figura 5, referente às etapas da ACV.

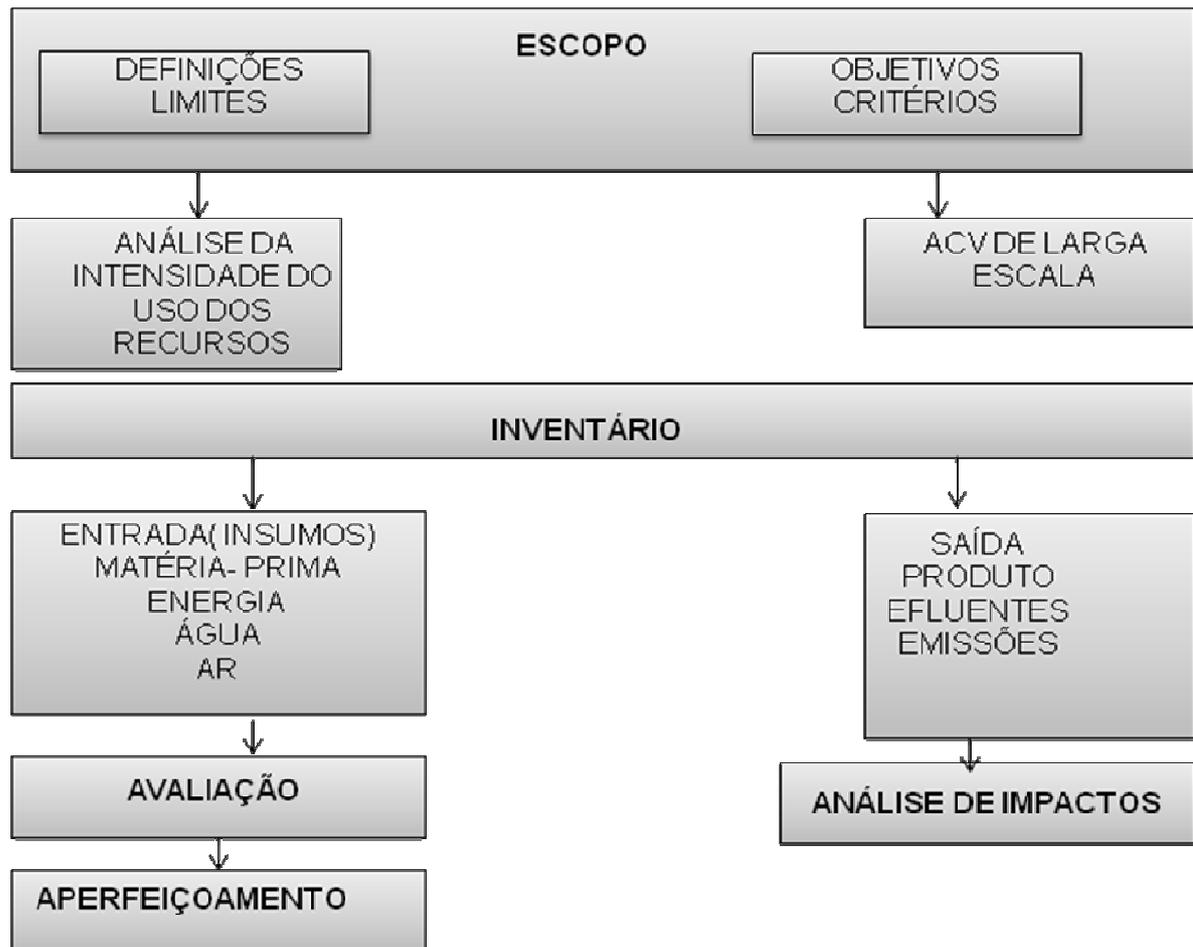


Figura 5 - Fluxograma da ACV

A técnica da ACV possui limitações, que devem ser consideradas tanto na elaboração dos estudos, quanto no uso dos seus resultados. Os dados de ACV possuem incertezas, que podem vir pelos dados coletados, pela subjetividade do modelo adotado e pela imprecisão do modelo.

As incertezas quanto à subjetividade do modelo devem-se ao fato de que não há apenas uma maneira de se fazer um modelo da realidade, pois pode-se utilizar a representatividade (dados que vieram de outras fontes), base de alocação e os eventos futuros (muitas ACV's lidam com produtos que tem um tempo de vida longo não se sabe como será o tratamento destes resíduos no futuro).

As incertezas causadas pela imprecisão do modelo são devido às falhas na definição de limites do sistema e planilhas de dados incompletas e com dados insuficientes. Em muitos casos, os dados são obtidos por entrevistas e através de questionários, e frequentemente estes dados estarão parcialmente disponíveis.

Outra questão são as desigualdades entre inventários e avaliação de impactos, em que os dados do inventário coletado não tem um fator de caracterização e, portanto, esta decisão é ignorada no resto da ACV.

Estas incertezas dos dados podem ser tratadas como uma gama de desvios padrões. Assim, os métodos estatísticos como a técnica de Monte Carlo, podem ser usadas para lidar com este tipo de incertezas. Em cada ACV faz-se, pelo menos uma escolha subjetiva para se construir um modelo. Assim, uma análise mais coerente consiste em combinar a análise de Monte Carlo para incerteza dos dados a análise de sensibilidade para o modelo de incertezas. Na análise de sensibilidade se obtém um melhor entendimento da magnitude do efeito das suposições que se fez.

Além da Análise de Sensibilidade, há a Análise de contribuição, que é uma ferramenta importante na compreensão das incertezas dos resultados. Nesta análise, determina-se qual processo tem papel significativo nos resultados. Um estudo de ACV geralmente contempla uma centena de diferentes processos, e de 95% ou mesmo 99% dos resultados é determinado por apenas 10 processos. Assim, partindo deste princípio pode-se focar a atenção nestes processos e analisar se estes processos são suficientemente representativos, completos e se existem importantes suposições sobre os mesmos. Uma análise de contribuição que mostre quais processos criam uma carga ambiental alta é chamada Análise de gravidade, mas esta análise não releva a causa da carga.

## **2.9- Aspectos Metodológicos da ACV**

De acordo com a ISO 14040, a ACV inclui quatro fases que se inter-relacionam: definição de objetivo e escopo da análise, inventário dos processos envolvidos (envolvendo as entradas e saídas dos sistemas), avaliação dos impactos associados às entradas e saídas do sistema e interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, levando-se em consideração os objetivos do estudo, conforme ilustra a Figura 6.

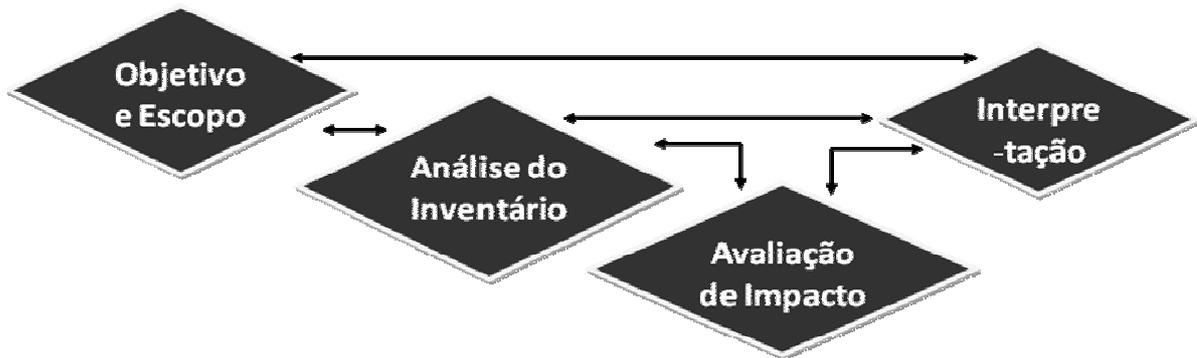


Figura 6. Fases da Avaliação do Ciclo de Vida

### Definição de Objetivo e Escopo

Nesta etapa são definidos o objetivo, a abrangência e limites, a unidade funcional, a metodologia e os procedimentos necessários para a garantia da qualidade do estudo (CHEHEBE, 1998).

Os objetivos devem ser definidos de forma clara, sem qualquer possibilidade de segunda interpretação, e consistentes com a aplicação pretendida. O escopo deve delinear todos os meios para que o objetivo seja alcançado. Ele deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão (onde iniciar e terminar o estudo), a profundidade (nível de detalhes do estudo) e a largura (quantos e quais subsistemas incluir) sejam compatíveis para atender o objetivo estabelecido (SOUSA, 2008; LIMA, 2007).

Na definição do objetivo e do escopo são considerados os sistemas (coleção de operações que representam uma ou mais funções definidas) a serem estudados, os seus limites conforme Figura 7 (determinam as unidades de processo que serão consideradas no estudo de ACV), as unidades de processo (são unidades que incluem as atividades de uma ou mais operações) e são estabelecidos a função (características de performance do produto) e a unidade funcional (quantificação da função), os procedimentos de alocação, os requisitos dos dados, as hipóteses e limitações (CHEHEBE, 1998).

## Fronteira

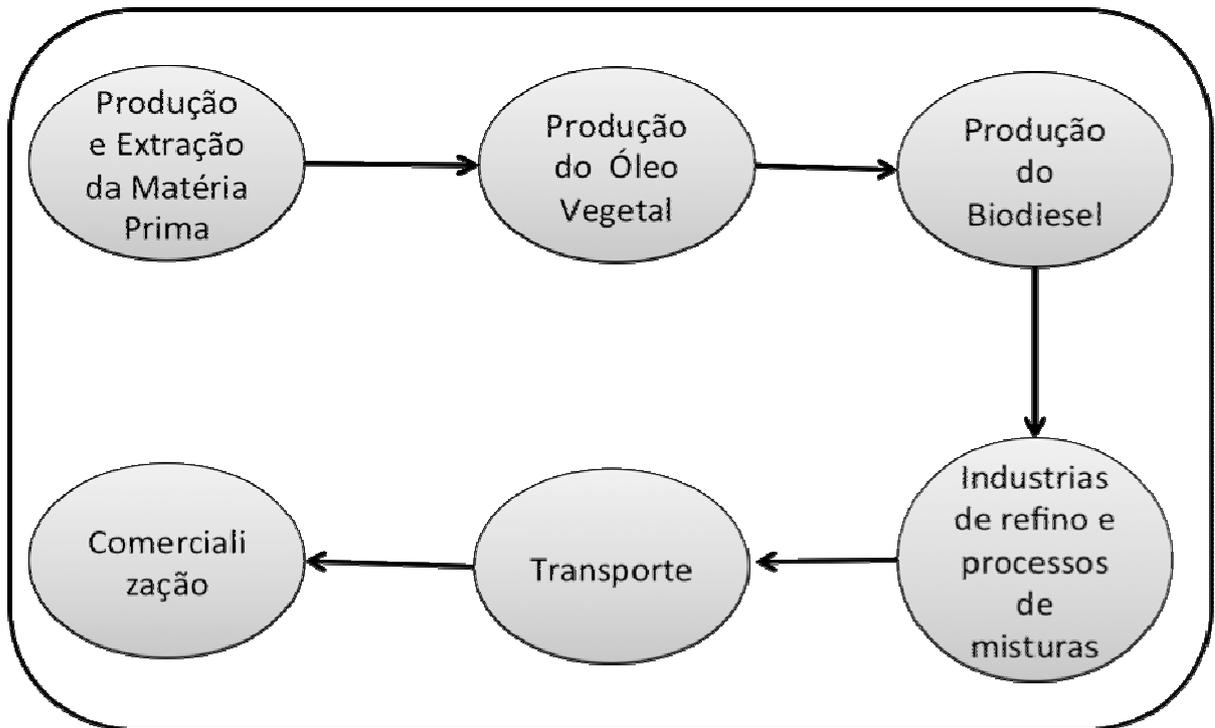


Figura 7. Escopo (limites) da ACV da produção de Biodiesel

### Análise do Inventário

É a fase de planejamento, coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos etc.) relacionadas com a ACV de um produto ou processo. Na prática, é difícil e trabalhoso de ser executado por uma série de razões que vão desde a ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los, até a qualidade dos dados disponíveis (SOUSA, 2008; LIMA, 2007; CHEHEBE, 1998).

As etapas de análise do inventário são: a preparação para a coleta de dados (confeção de questionários e/ou formulários), a coleta de dados (pode ser realizada através de medições locais ou em banco de dados), o refinamento dos limites do sistema (revisão dos limites do sistema através de análise de sensibilidade) e a determinação dos procedimentos de cálculo e de alocação

(corresponde a forma de divisão da carga ambiental entre o produtos principal e os sub-produtos).

Na coleta de dados é importante verificar se estes são consistentes entre si ou em relação a dados de outras fontes. Esta verificação é feita através de balanços de massa e energia.

### **Avaliação de Impacto**

Nesta fase, o sistema do produto é examinado sob uma perspectiva ambiental, relacionando os resultados da análise de inventário às categorias de impacto e transformando-os em resultados dos indicadores de categorias, ou ainda, em um índice ambiental único por sistema de produto avaliado (SOUSA, 2008; LIMA, 2007).

Segundo CHEHEBE (1998) e FERRÃO (1998), a avaliação de impacto segue algumas etapas:

- Definição das categorias de impacto, onde são identificados os focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará. As categorias devem ser estabelecidas com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais. Como isso não é sempre possível, em alguns casos admite-se que o julgamento de valores possa substituir parte do conhecimento científico.

- Classificação: que tem como objetivo atribuir, a cada uma das categorias selecionadas, os dados correspondentes do inventário. Alguns exemplos de categorias são: a exaustão de recursos não renováveis, o aquecimento global, a redução da camada de ozônio, a toxicidade humana, a ecotoxicidade, a acidificação, os oxidantes fotoquímicos, a nitrificação, entre outras.

- Caracterização: nesta fase, as contribuições para cada problema ambiental são quantificadas, através dos fatores de caracterização ou fatores de equivalência. Estes fatores indicam quanto uma determinada substância contribui para um determinado problema ambiental comparada a uma substância de

referência. Por exemplo, no caso do efeito estufa, todas as intervenções ambientais são convertidas em equivalentes de CO<sub>2</sub>.

- Normalização: corresponde à normalização dos valores obtidos para cada categoria de impacto ambiental e implica no quociente destes valores por um valor “normal”, o qual pode, por exemplo, consistir no impacto ambiental médio causado por uma pessoa durante um dia.

- Atribuição de pesos: pode-se desejar atribuir pesos aos resultados da avaliação de impacto, transformando o resultado de todo um estudo em um simples indicador. A base para a atribuição de valores é o perfil ambiental do sistema estudado. O índice ambiental é formado atribuindo-se pesos a cada problema ambiental em termos de sua importância, somando-se, após isso, os resultados ponderados.

### **Interpretação**

Consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e/ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos pelo estudo, o que possibilita alcançar conclusões e recomendações, e por fim, direcioná-las às partes interessadas (SOUSA, 2008; LIMA, 2007).

Nesta fase, segundo FERRÃO (1998), define-se os fatores de ponderação entre os diferentes temas ambientais e aplica-os obtendo um indicador único, o qual quantifica o desempenho ambiental associado ao produto, ao longo de sua vida. No Simapro 7<sup>TM</sup> pode-se utilizar o Ecoindicator. Neste método utiliza-se o princípio da distância ao objetivo no cálculo dos pesos, a abordagem baseia-se na premissa de que a gravidade de um impacto pode ser avaliada pela diferença entre o seu nível atual e o valor limite. O valor limite é baseado em dados ambientais para a Europa, reunidos pelo *National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, the Netherlands*). O Ecoindicator considera onze temas ambientais, o efeito estufa, diminuição da camada de ozônio, acidificação, eutrofização, emissão de metais pesados, carcinogênicos, smog de inverno, smog

de verão, pesticidas, esgotamento de matérias-primas e recursos energéticos e resíduos sólidos.

## **2.10 Análise do ciclo de vida para o biodiesel da soja**

Quando se faz uma análise de todo o ciclo de vida do biodiesel, o argumento dele ser uma alternativa ambiental correta (por apresentar neutralidade em relação ao CO<sub>2</sub>, por sua combustão não gerar emissões significativas de compostos sulfurados), não necessariamente se mantém como vantagens naturais. Durante a produção agrícola da colza, girassol e de uma forma mais restrita da soja, são utilizados fertilizantes, biocidas e combustível para toda a parte referente à mecanização, o que demanda uma grande quantidade de combustíveis fósseis (KNOTHE *et. al*, 2006).

A soja é produzida em um sistema de agricultura moderna industrial, baseado no uso de energia fóssil, insumos industriais, fertilizantes químicos, agrotóxicos, mecanização, pouca mão-de-obra, variedades geneticamente modificadas de alto potencial produtivo além de muitos outros recursos não renováveis. Ainda, a expansão sem controle da monocultura de soja promoveu o desmatamento da maior parte do ecossistema do cerrado e agora ameaça a floresta amazônica. Os problemas sociais e ambientais resultantes deste modelo agrícola têm sido amplamente relatados tais como o declínio da fertilidade do solo, intoxicação de pessoas e animais por produtos tóxicos, expulsão de pequenos agricultores de suas terras, contaminação do solo e da água, erosão ou assoreamento dos rios, diminuição da biodiversidade e contribuição para a modificação no clima regional. (CAVALLET, 2008, p. 1)

Com base na metodologia ACV, apresentam as vantagens e desvantagens do biodiesel fabricado a partir da utilização do éster metílico de óleo de colza (EMC) em comparação com o diesel convencional. Neste concluiu-se de que não é possível ter uma certeza imediata de qual combustível apresenta-se como a opção mais viável quando se leva em consideração todos os aspectos ambientais,

como o efeito estufa, o processo de acidificação e eutrofização e a toxicidade humana e ecológica, etc.

Cavalett (2008) discutiu os impactos da utilização do óleo de soja como fonte de produção de biodiesel, através da metodologia do Ciclo de Vida, da análise emergética e energética, além de analisar os impactos econômicos e as emissões de CO<sub>2</sub> em todo o processo de produção do combustível, ele conclui que com base nas metodologias utilizadas que o biodiesel de soja no Brasil não é uma alternativa viável.

### **2.11- Análise da energia incorporada**

A análise da energia incorporada é definida como a “energia comercial” requerida, direta e indiretamente para possibilitar um sistema produzir um bem ou produto específico (Slesser, 1974). O método fornece percepções úteis na eficiência energética do sistema em escala global, levando-se em consideração todo o suprimento de energia comercial empregada.

### **2.12- Análise de intensidade de fluxo de materiais**

O método de contabilidade de intensidade de fluxos de materiais (Schmidt-Bleek, 1993) busca avaliar a perturbação ambiental associada com a retirada de fluxos materiais de seus caminhos ecossistêmicos naturais. O primeiro passo é quantificar todas as entradas e saídas dos fluxos de massa sendo necessário avaliar todas as saídas do sistema (produtos, co-produtos e emissões) porque são importantes para avaliação dos diferentes tipos de impactos ambientais possíveis. Além disso, quando se expande a escala de avaliação, percebe-se que cada fluxo de material fornecido ao processo foi extraído e processado em outro lugar.

Materiais adicionais são transportados de um lugar para o outro, processados e então fornecidos para o sistema produtivo

### **3. METODOLOGIA**

Neste trabalho foi realizada a Aplicação de Técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida na produção do biodiesel a partir do óleo de soja, obtendo-se indicadores ambientais. Para alcançar os objetivos propostos foi utilizado o software Simapro<sup>TM</sup> da Pré-consultants que foi a ferramenta utilizada para coletar os dados e analisar o desempenho ambiental do processo de transesterificação.

#### **3.1 Métodos**

A norma ISO 14040 define a ACV como uma técnica para a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, ao longo de seu ciclo de vida (SOUSA, 2008).

As normas ISO 14000 possuem uma versão correspondente no idioma português traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme disposto a seguir:

NBR ISO 14040:2006 - Princípios e estrutura.

NBR ISO 14041:2004 - Definição do objetivo e escopo e análise de inventário.

NBR ISO 14042:2004 - Avaliação do impacto do ciclo de vida .

NBR ISO 14043:2005 - Interpretação do ciclo de vida.

NBR ISO 14044:2006 - Aborda a estrutura metodológica da ACV detalhadamente, apresentando requisitos e diretrizes para a realização de um estudo.

A avaliação do ciclo de vida de um processo exige elevadas quantidades de informações sobre todos os recursos necessários para a sua produção e uso, como por exemplo, a produção de eletricidade, utilização de matéria-prima, etc. Fazendo-se necessário um software com recursos e banco de dados para apoiar a análise do inventário e avaliação dos impactos ambientais.

Existem alguns programas comerciais para a avaliação do ciclo de vida e que têm características diferentes, por exemplo, o GaBi tem um banco de dados bastante detalhado sobre produção de biodiesel, o que seria muito útil numa análise de processos europeus. No entanto, devido à variabilidade das práticas ambientais nas fábricas, a necessidade de estudos a serem realizados em todas as fases de produção e a pouca flexibilidade de utilização dos dados, se forem necessárias comparações detalhadas de outros processos específicos. O software escolhido para este estudo foi o Simapro 7<sup>TM</sup> pois este software apresenta todas as etapas para a realização da ACV desde a definição de objetivo e escopo até a interpretação como visto na Figura 9.

A estrutura do Simapro<sup>TM</sup> encontra-se organizada em projetos, os quais incluem diversos tipos de ciclo de vida de produtos, que podem ser utilizados pelo operador. Compreende também bancos de dados que se encontram organizados em sete categorias: materiais, energia, transportes, processamento, usos e cenário e tratamento de resíduos.

Os dados para a análise de inventário foram obtidos do banco de dados e através de coleta de dados

No software Simapro, é possível fazer a caracterização dos impactos, fornecendo um gráfico onde pode-se visualizar as categorias de impacto selecionadas, ou obter um gráfico com um valor único para o impacto.

A unidade funcional deste estudo refere-se a 1 MJ/Kg de biodiesel de soja produzido ao final do processo de transesterificação. Esta unidade foi escolhida por ser medida relacionada à função a ser avaliada (produção do biodiesel).

Os estudos foram conduzidos de acordo com a ISO 14040 que divide a LCA em 4 etapas: definição de objetivos e escopo (limites da análise), análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. Nesta pesquisa utilizamos o software Simapro 7<sup>TM</sup> para a avaliação dos produtos.

O objetivo do presente estudo foi disponibilizar uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) para o Biodiesel obtido do óleo de soja. Sua principal aplicação

encontra-se nos estudos de ACV de produtos que consumam o biodiesel, buscando contribuir para a construção de um banco de dados dedicado a ACV para Biodiesel de Oleaginosas no Brasil.

O escopo deste estudo considerou a produção industrial do biodiesel por transesterificação via rota metílica, o uso direto de energia, produtos químicos e água. Os processos de produção agrícola, extração do óleo vegetal, distribuição final e a destinação final após o uso não foram considerados neste estudo. A Figura 8 ilustra o limite do sistema.

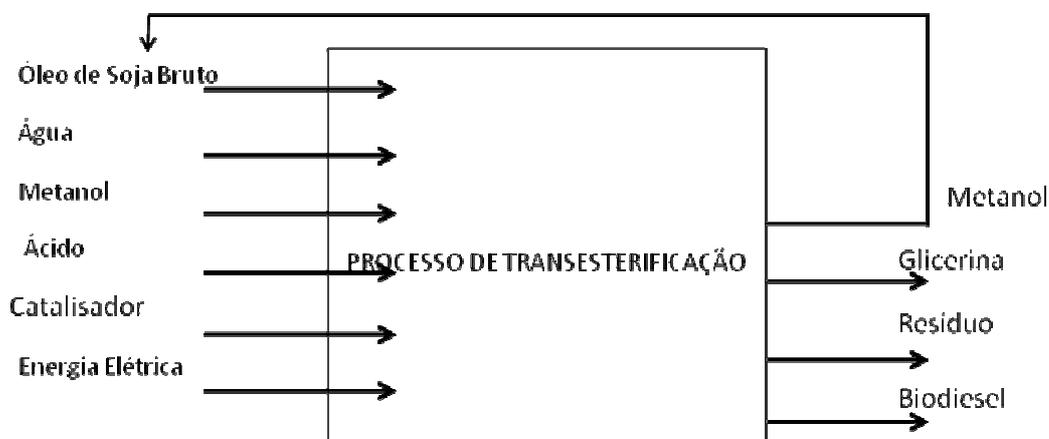


Figura 8. Limite do sistema, processo considerado na ACV

Não foram considerados procedimentos de alocação neste estudo, tendo em vista que somente a função de produção de biodiesel foi considerada

Para obter a quantificação dos fluxos de materiais e energia na produção de biodiesel de soja, foram feitos contatos com uma usina de produção de biodiesel e os próprios fabricantes dos equipamentos, que forneceram dados sobre os consumos energéticos no processo e dados de efluentes no processo. Além disto foram utilizadas dados fornecidos pelo software SimaPro.

A avaliação dos impactos foi feita utilizando o Ecoindicador 99 e as categorias de impacto consideradas neste estudo foram a ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, mudança climática e esgotamento de combustíveis fósseis. Estas categoriais vêm sendo consideradas em alguns estudos sobre avaliação do ciclo de vida.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados no inventário do ciclo de vida constam na Tabela 3.

Tabela 3: Dados do inventário para produção de 100.000L de biodiesel/ dia= 87.500,00 kg

<b>Produto</b>	<b>Quantidade para produção de 100.000 L de biodiesel</b>
Óleo de soja	100.000,32 kg
Glicerina loira	11,96 ton.
Glicerina bidestilada	9,78 ton.
Metanol anidro	17.195,55 kg
Metanol recuperado	6.448,23 kg
NaOH	1.413 kg
Ácido Sulfúrico-	60 Kg
Indutor	8.598,17 Kg
Água	21.695,52 Kg
Energia	159,789 kWh
Resíduo	5,75 m <sup>3</sup>

A Tabela 4 relata os resultados de Avaliação de impacto para a produção de 1kg de Biodiesel de soja considerando todos os aspectos e impactos ambientais considerados no estudo.

Tabela 4: Resultado de Avaliação de Impacto para Produção de 1Kg de Biodiesel de Soja via transesterificação .

Categoria	Mudanças Climáticas	Ecotoxicidade	Acidificação/ Eutrofização	Combustíveis Fósseis
Unidade	DALY	PAF*m2yr	PDF*m2yr	MJ
Total	9,55E-7	0,0158	0,0975	1,32
Óleo de Soja	9,12E-7	0,0146	0,0957	0,569
Metanol	3,78E-8	0,00121	0,00146	0,726
Eletricidade	8,16E-11	4,93E-6	2,05E-6	0,000165
Água	1,64E-11	2,49E-6	1,14E-6	6,15E-5
Ácido Sulfúrico	1,77E-11	8,33E-6	1,53E-5	8,9E-5
Hidróxido de Sódio	4,64E-9	1,62E-5	0,000358	0,0203
Tratamento de Efluentes	5,06E-12	2,19E-6	9,27E-7	58E-5

Há uma quantidade finita de minerais na crosta da Terra. A extração destes minerais tem um impacto ambiental devido ao uso de energia, resíduos e emissões de efeito estufa. Os combustíveis fósseis são atualmente a principal fonte de energia para a nossa civilização, o valor total do mundo de recursos é limitado e os combustíveis fósseis estão a atingir uma falta. Em virtude desta quantidade finita pode-se eventualmente, levar a uma crise de energia e aumento radical dos preços do petróleo. A medição deste excedente de unidade extraído da natureza é dado pela unidade MJ.

A Figura 9 mostra que os aspectos uso de metanol e óleo de soja são respectivamente os fatores mais impactantes relacionados ao impacto escassez dos combustíveis fósseis. O metanol apresentou 7,2600E-01 MJ , e o óleo de soja 5,6900E-01 MJ . Os outros aspectos representaram um menor impacto ambiental, eletricidade (1,6500E-04 MJ ), água( 6,1500E-05 MJ ), ácido sulfúrico (8,9000E-05 MJ ), hidróxido de sódio ( 2,0300E-02 MJ ) e tratamento de efluentes ( 1,5800E-05 MJ ).

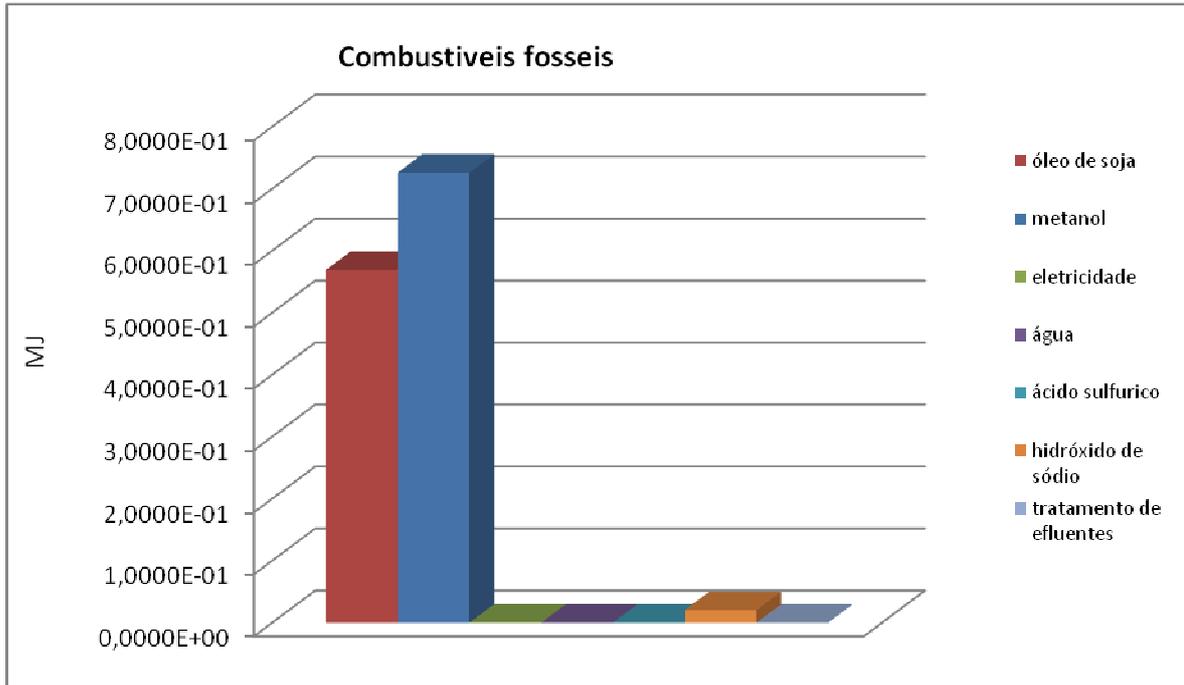


Figura 9. Combustíveis fósseis representados por MJ, que corresponde ao excedente de unidade.

Durante o século 20, a temperatura da superfície global da Terra aumentou  $0,18^{\circ} \text{C} \pm 0,74$ , prevendo-se para aumentar  $1,4-5,6^{\circ} \text{C}$  entre 1990 e 2100. A crescente concentração de gases de efeito estufa na troposfera (região da atmosfera a partir do nível do solo até 16 quilômetros acima da superfície da Terra) é acreditado para ser a principal fonte de mudança climática. Os gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e vapor de água, são transparentes à radiação solar de onda curta, mas opaco às longas ondas irradiada de volta da Terra como calor. O  $\text{CO}_2$  é o gás mais importante com força radiativa de 60% de todos os gases de efeito de estufa. O aumento global da concentração de  $\text{CO}_2$  é principalmente devido à atividade humana, tais como a combustão de combustíveis fósseis e do desmatamento. O metano é outro gás de efeito estufa importante com forçamento radiativo de 20%. As principais fontes de emissão de  $\text{CH}_4$  provenientes das atividades humanas são a produção de energia, aterros sanitários, tratamento de resíduos e queima de biomassa.

A unidade utilizada para medição de mudança climática é a DALY que corresponde a incapacidade de ajustes de anos de vida.

Observa-se na Figura10 que houveram alterações significativas na mudança climática com o uso do óleo de soja ( $9,12E-07$  DALY) e uso do metanol ( $3,7000E-8$  DALY) ; Os demais aspectos não tiveram alterações significativas na mudança climática, eletricidade ( $8,16E-11$ ), água ( $1,64E-11$ ), ácido sulfúrico ( $1,77E-11$ ), hidróxido de sódio ( $4,64E-9$ ), tratamento de efluentes ( $5,06E-12$ ).

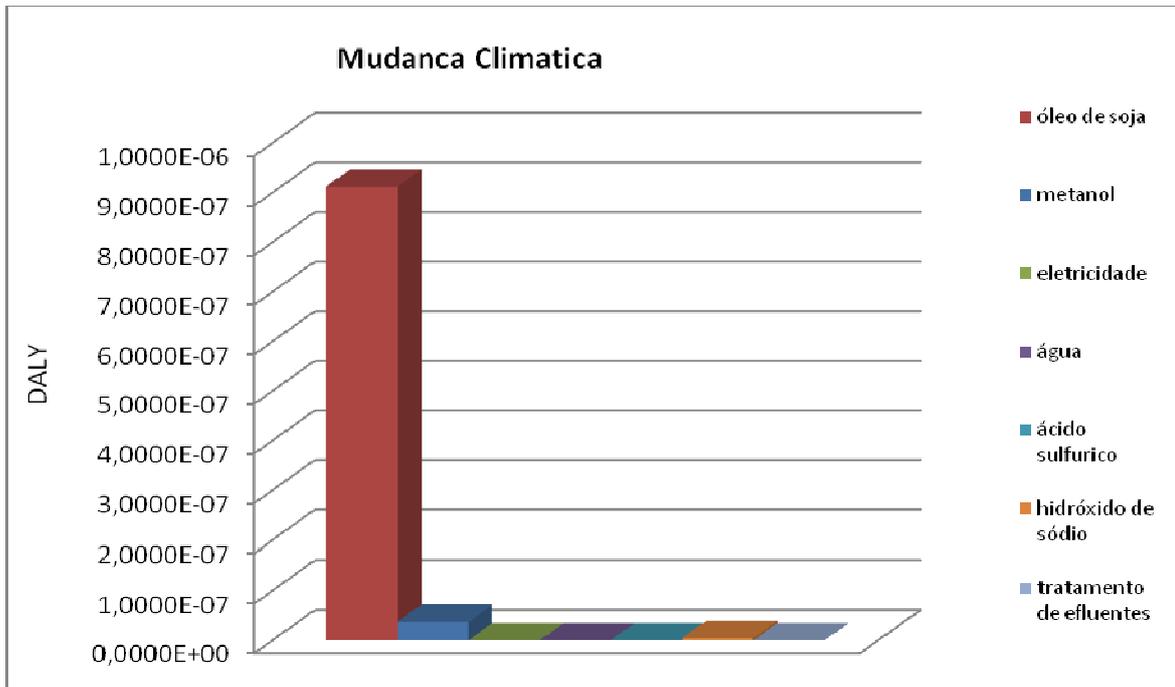


Figura10. Mudança climática com unidade expressa em DALY que corresponde a incapacidade de ajustes de anos de vida.

Toda a atividade humana afeta o uso da terra levando a modificação do ecossistema natural. Esta modificação inclui a degradação do solo, a redução da biodiversidade local, a supressão dos recursos naturais, etc. Além disso, ele pode levantar problemas demográficos, econômicos e políticos. O Eco-indicador 99 método utilizado nestes cálculos considera os seguintes aspectos: uso da terra., ocupação das florestas, canteiros de obras, áreas industriais, locais de extração mineral e áreas de tráfego.

A unidade utilizada para a medição de ecotoxicidade é  $PDF * m^2 * yr$  que representa a medida pela potencialidade de contaminação da água e do solo. Na Figura 11, observa-se um maior potencial de ecotoxicidade na utilização do uso do óleo de soja ( $0,0146$   $PAF*m^2yr$ ), seguido pelos produtos metanol ( $0,00121$   $PAF*m^2yr$ ), eletricidade ( $4,93E-06$   $PAF*m^2yr$ ), água ( $2,49E-06$   $PAF*m^2yr$ ), ácido

sulfúrico ( $8,33 \text{ E-06 PAF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), hidróxidos de sódio ( $1,62 \text{ E-05 PAF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ) e tratamento de efluentes ( $2,19 \text{ E-06 PAF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ).

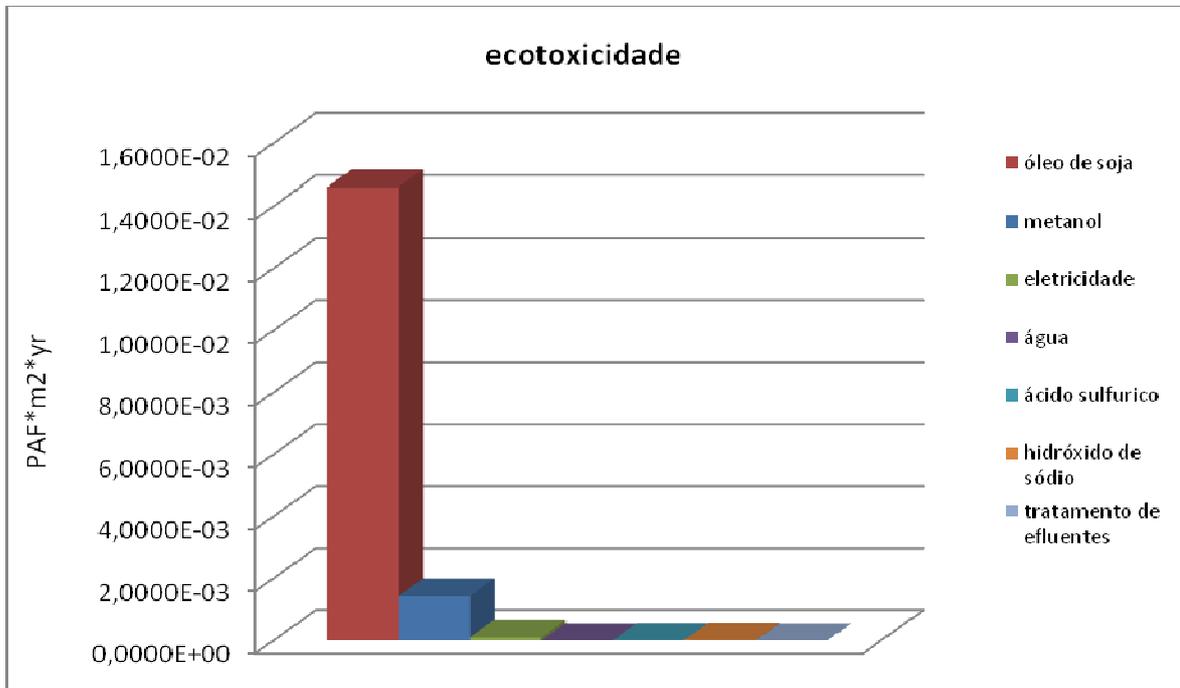


Figura 11. Correspondente a ecotoxicidade cuja unidade representa a fração potencialmente afetada ( $\text{PAF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ).

Ambos, o  $\text{SO}_2$  e os  $\text{NO}_x$  reagem com o vapor de água na atmosfera para formar o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). A chuva ácida é prejudicial na água e em terra (a água da chuva é considerada chuva ácida quando o nível de pH estiver abaixo de 5,6). A vida marinha é atingida se a água se torna muito ácida. As plantas serão danificadas e, eventualmente, morrem quando as infiltrações do ácido nas folhas interromper o processo de fotossíntese. A chuva ácida também prejudica edifícios e estátuas de mármore. A eutrofização é uma resposta do ecossistema para as atividades humanas que enriquecem artificialmente corpos d'água com nitrogênio e fósforo. A eutrofização pode levar a mudanças na população animal e vegetal e degradação da água.

A unidade utilizada para se medir acidificação/eutrofização é DALY que representa o percentual de diminuição da biodiversidade sobre uma área

durante certo período. Na Figura 12 observa-se como na ecotoxicidade, o aspecto que mais contribuiu foi o uso do óleo de soja ( $0,0957 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), metanol ( $0,00146 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), eletricidade ( $2,05 \cdot 10^{-6} \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), água ( $1,14 \cdot 10^{-6} \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), ácido sulfúrico ( $1,53 \cdot 10^{-5} \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), hidróxido de sódio ( $0,000358 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ), tratamento de efluentes ( $9,27 \cdot 10^{-7} \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ).

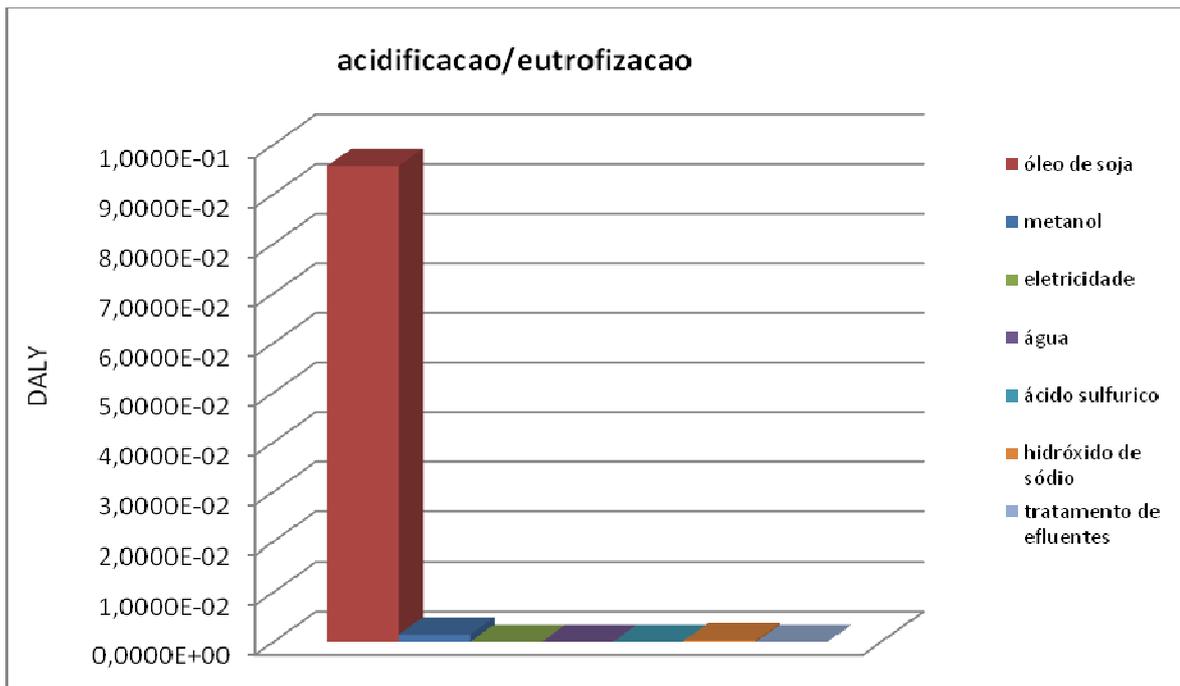


Figura12. Acidificação/ eutrofização com unidade expressa em  $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$  que representa a fração de potencialidade de desaparecimento.

Na Figura 13 é possível observar todos os aspectos ambientais projetados em uma única pontuação.

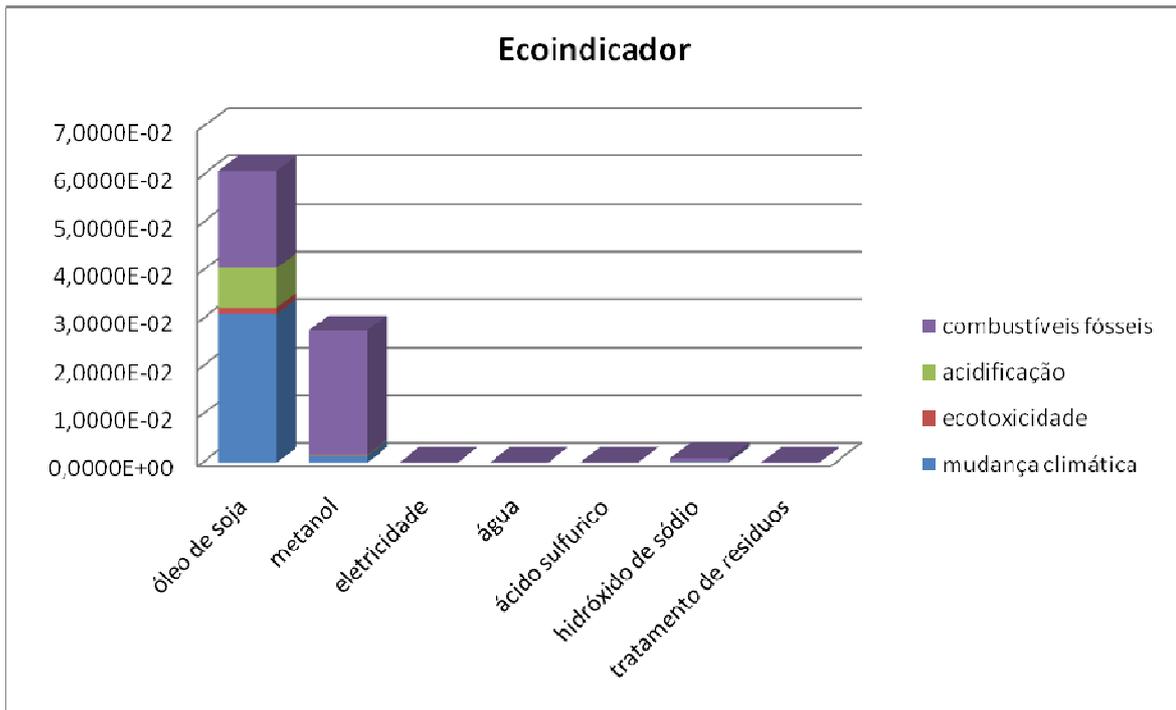


Figura13. Ecoindicador referente ao fluxo de materiais e energia.

Conforme já observado nos gráficos anteriores os aspectos eletricidade, água, ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e tratamento de efluentes refletiram impactos ambientais de forma insignificativa em relação aos aspectos óleo de soja e metanol.

O uso de metanol tem um valor elevado pelo fato de sua produção estar baseada na produção a partir do gás natural, que é constituído principalmente por hidrocarbonetos. O petróleo é encontrado na fase líquida em condições ambientes de pressão e temperatura, e o gás natural encontrado em frações gasosas nas mesmas condições. Ambos possuem impurezas em comum, tais como compostos a base de enxofre, gás carbônico, nitrogênio, metais diversos e água salgada. Segundo André Camargo (2007), que realizou um inventário do ciclo de vida do metanol, o elevado consumo energético para a produção do mesmo se deve ao subsistema de transporte de gás natural e devido a combustão do próprio gás para produção de energia. Outro fator a ser evidenciado refere-se a grandes distâncias dos gasodutos de interligação entre as unidades de extração do gás natural e as unidades de processamento de gás exigindo uma demanda muito elevada de energia para promover o transporte do gás. Observa-se que o consumo total de energia para a produção de 1000kg de metanol (fluxo de referência), cerca de 87,4%

dest energia é utilizada na forma de compressão para promover o transporte do gás natural desde a região produtora até as unidades de processamento de gás natural.

O óleo de soja utilizado no processo contribui de maneira significativa para o impacto combustíveis fósseis pois o custo energético para a produção do óleo de soja é muito elevado. Segundo Otavio Cavallet o custo energético da produção de soja é de  $3,12 \text{ MJ kg}^{-1}$ , enquanto para o biodiesel este valor é quatro vezes maior ( $11,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). Produzir um litro de biodiesel requer uma quantidade de energia comercial equivalente a  $0,27 \text{ kg}$  de petróleo que está incorporada ( de forma direta e indireta ) nos inputs utilizados para sua produção.

Segundo Otavio Cavalletti (2008) se uma fração do biodiesel produzido é usada para realimentar o processo, para torná-lo independente dos combustíveis fósseis, a demanda de área agrícola, água, fertilizantes e agrotóxicos é aumentada correspondentemente em mais de 68% não sendo uma alternativa viável.

Otávio Cavallet em seu trabalho apresentou em um diagrama sistêmico a produção de biodiesel de soja com o uso de combustíveis fósseis no processo e sem o uso de combustíveis fósseis no processo. A relação de energia do biodiesel calculada com alocação pela quantidade de energia (2,48) fornece uma relação de energia bruta/liquida de 0,60. Isto mostra que são necessários 0,40 litros de combustíveis fósseis para produzir cada litro de biodiesel entregue ao consumidor final. Por outro lado, é necessário produzir 1,68 litros de biodiesel para cada litro de biodiesel entregue para o consumidor se o processo de produção for independente de combustíveis fósseis. Isto é, retroalimentar uma parte do biodiesel produzido para fornecer a energia fóssil consumida no processo.

A Avaliação do Ciclo de Vida da produção de biodiesel de Otávio Cavalett envolveu o processo completo desde a plantação da soja até a queima do biodiesel. Em paralelo com o presente trabalho observa-se que o problema apresentado quanto ao óleo de soja ser o mais impactante no processo de transesterificação deve-se à etapa do plantio da soja, uma vez que em um plantio tradicional utiliza-se grande quantidade de energia de forma direta e indireta.

## 5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste estudo, a avaliação do ciclo de vida dos produtos foi realizada utilizando-se o software Simapro 7<sup>TM</sup>, que se mostrou de fácil utilização e com um banco de dados abrangente. Como os dados europeus não traduzem a realidade brasileira, fez-se necessário a coleta de dados de inventário e a criação de um banco de dados no Brasil.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a produção de biodiesel de soja no Brasil não é uma alternativa viável levando-se em consideração os resultados obtidos nas avaliações dos impactos ambientais. Esta afirmativa está baseada nas consequências em larga escala para a sua substituição pelo diesel comercial usado no país. Não existem evidências de que a produção em larga escala de biodiesel de soja possa ser considerada uma solução ambientalmente sustentável para a segurança energética do Brasil. A poluição direta (DBO<sub>5</sub>) dos efluentes industriais, liberação de resíduos de agrotóxicos) e outros danos ambientais (erosão do solo, destruição de florestas e outros habitat naturais, redução da biodiversidade) relativos à entrega de energia líquida na forma de biodiesel de soja indicam que a sua produção em larga escala exerce uma pressão muito grande no meio ambiente.

Analisando-se os resultados, pode-se constatar que a utilização do óleo de soja e metanol causa impactos significativos no processo e que não seria necessário contabilizar os demais aspectos, uma vez que o nível de agressão ao meio ambiente em relação aos listados anteriormente é desprezível.

A sustentabilidade da produção de biodiesel de soja depende do emprego racional dos recursos nos seus processos de produção agrícola, transporte e processamento. É importante planejar um consumo menor de materiais, água e combustíveis fósseis.

A futura aceitação e viabilidade do biodiesel estão ligadas a integração da produção de biocombustíveis com a produção diversificada de alimentos, tirando-se proveito dos co-produtos e aumentando-se a reciclagem interna de materiais e energia nos sistemas de produção e processamento de alimentos bem como sistemas de produção orgânicos ou com aplicação de conceitos agroecológicos.

A viabilidade da produção do biodiesel vai depender também do tipo de álcool utilizada na produção, visto que o metanol é oriundo de fontes extremamente poluidoras, semelhante ao petróleo.

## **PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Realizar a análise semelhante à apresentada neste trabalho para outras matérias primas para produção de biodiesel como a girassol, mamona, tungue, pinhão manso, gordura animal e óleo de cozinha descartado a fim de comparar com a ACV deste trabalho;

- Utilizar a mesma abordagem de análise deste trabalho para outras opções de biocombustíveis (por exemplo, o etanol de cana-de-açúcar, celulose, mandioca e milho) em diferentes modos e escalas de produção;

- Avaliar iniciativas de sistemas mais sustentáveis de produção de soja para biodiesel no Brasil;

- Realizar as análises de energia incorporada e intensidade de materiais para os sistemas convencionais e as opções mais sustentáveis a fim de se obter avaliação mais completa;

- Avaliar e comparar a diferença quanto aos impactos ambientais e econômicos entre a rota metílica e etílica de produção de biodiesel de soja.

## 6. REFERÊNCIAS

AKSOY, H. A.; KAHRAMAN, I.; KARAOSMANOGLU, F.; CIVELEKOGLU, H. Evaluation of Turkish sulphur olive oil as an alternative diesel fuel. **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 65, p. 936-938, 1988.

AZAPAGIC, A. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. **Chemical Engineering Journal**, n. 73, p. 1-21, 1999.

BARBOSA, M. Z. & ASSUMPÇÃO, R. Ocupação territorial da produção e da agroindústria da soja no Brasil, nas décadas de 80 e 90. *Informações Econômicas*, São Paulo, 31(11):7-16, novembro, 2001.

BARGIGLI, S., RAUGEI, M., ULGIATI, S. Mass flow analysis and mass-based indicators. In: **Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health**. CRC Press, 2004a, 439 p.

BERTRAND, J; LAURENT, C; LECLERCQ, V. **O mundo da soja**. São Paulo: HUCITEC, 1987

BICKEL, U.; DROS J. M. 2003. **The Impacts of Soybean Cultivation on Brazilian Ecosystems**. Commissioned by the WWF Forest Conversion Initiative. Disponível em: <<http://assets.panda.org/downloads/impactsofsoybean.pdf>>. Acesso em: 24 novembro2011

**BIODIESEL**. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 13 julho 2011.

BIODIESELBR. **Definição**: Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel.htm>>. Acesso em: 17 agosto 2011.

BIODIESELBR. **Processo de Produção de Biodiesel**: Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/processo-producao/biodiesel-processo-producao.htm>>. Acesso em: 18 dezembro 2011.

BOCKISCH, M. **Fats and Oils Handbook**.. Edição traduzida e revisada do original trabalho alemão - Nahrungsfette und AOCs PRESS, 1998.

CADENA, E.; COLÓN, J.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A.; FONT, X. Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment: LCA for waste**. n. 14, p. 401-410, 2009.

CAMARGO, A.M. **Inventário do Ciclo de Vida do Metanol para as condições Brasileiras**.2007.117f. Dissertação( Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo

CAVALETT, O. **Análise do ciclo de vida da soja**. 2008. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Soja**. Disponível em [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=&Pagina\\_objcmsconteuos=9#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=&Pagina_objcmsconteuos=9#A_objcmsconteudos). Acesso em: 29 junho 2011.

DORADO M.P., BALLESTEROS E., MITTELBAACH M., LOPEZ F.J., Kinetic parameters affecting the alkali-catalyzed transesterification process of used olive oil, *Energy & Fuels* 18 (5): 1457-1462, 2004.

DEMIRBAS, A. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. *Energy Conversion & Management*. n. 43, p. 2349-2356, 2002.

EHLERS, E. M. **O que se entende por agricultura sustentável?** 1994. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja**. Disponível em [http://www.cnpsa.embrapa.br/index.php?cod\\_pai=2&op\\_page=294](http://www.cnpsa.embrapa.br/index.php?cod_pai=2&op_page=294)>. Acesso em: 26 junho 2011.

FERNANDO, S.; KARRA, P.; HERNANDEZ, R.; KUMAR JHAA, S. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. *Energy*, v. 32, p. 844–851, 2007.

FERRÃO, P. C. **Introdução à Gestão Ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos**. IST Press, 1998. 219 p.

Ferraz, J. M. G.. As dimensões da Sustentabilidade e seus indicadores. In: MARQUES, J. F.; SKORUPA, L. A.; FERRAZ, J. M. G (Ed.). **Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA, p. 17-35, 2003.

FEUGE, R. O.; GROSE, T. Modification of vegetable oils. VII. Alkali catalyzed interesterification of peanut oil with ethanol. *Journal of the American Oil Chemists's Society*. n. 26, p. 97-102, 1949.

FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists's Society*. n. 63, p. 1375-1380, 1986.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. REVIEW: Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. n. 92(5): p. 405-416, 2001

GELDER, J. W.; DROS, J. M. 2005. **From rainforest to chicken breast: Effects of soybean cultivation for animal feed on people and nature in the Amazon region – a chain of custody study**. Research report for the Dutch Soy Coalition commissioned by Friends of the Earth Netherlands and Cordaid. Disponível em: <[www.milieudefensie.nl/landbouw/publicaties/rapporten/From%20Rainforest%20to%20Chick kenbreast.pdf](http://www.milieudefensie.nl/landbouw/publicaties/rapporten/From%20Rainforest%20to%20Chick%20kenbreast.pdf)>. Acesso em: 24 novembro 2012.

GERIS, R.; SANTOS, N.; AMARAL, B.; MAIA, I.; CASTRO, V. C. Reação de Transesterificação para Aulas Práticas de Química Orgânica. **Química Nova**, Salvador, v. 30, n. 05, p. 1369-1373, 2007.

GREENPEACE. Eating up the Amazon. **Greenpeace International**. 2006. Disponível em: <[www.greenpeace.org/international/press/reports/eating-up-the-amazon](http://www.greenpeace.org/international/press/reports/eating-up-the-amazon)>. Acesso em: 25 agosto 2011.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2006. 109 p.

HOLANDA, A. Biodiesel e Inclusão Social: Relatório Apresentado ao Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica. Centro de Documentos e Informação Coordenação de Publicação. **Caderno de Altos Estudos 1**. Brasília, 2004.

ISO 14040. **Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework**, 2006. The International Organization for Standardization.

ISO 14041. **Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis**, 2004. The International Organization for Standardization.

ISO 14042. **Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment**, 2004. The International Organization for Standardization.

ISO 14043. **Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation**, 2005. The International Organization for Standardization.

ISO 14044. **Environmental Management — Life cycle assessment — Requirements and Guidelines**, 2006. The International Organization for Standardization.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual do Biodiesel**. Tradução de Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 112p.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil – Inserção e perspectivas**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Soja**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em: 12 junho 2011.

MEIRELLES, F. S. **Biodiesel**: Informe Departamento Econômico FAESP, n. 67, 2003. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/EstArtigos/biodiesel.pdf>>. Acesso em: junho 2012.

NOGUEIRA, L. A. H.; PIKMAN, A.M., Biodiesel: Novas Perspectivas de Sustentabilidade. **Conjuntura & Informação**, Brasília, n. 19, p. 2-4, ago./out., 2002.

ORTEGA, E. **Agenda 21, Rio+10 e as questões de Energia e Desenvolvimento, 2002**. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/plan-disc/Agenda21-Energia.pdf>. Acesso em: 15 março 2012.

Análise Energética: Uma ferramenta para quantificar a Sustentabilidade dos agroecossistemas. . **Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável**, 2003. Disponível em: <<http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>>. Acesso em: 15 março 2012.

OTA. **Green Products by Design**: Choices for a Cleaner Environment. Office of Technology Assessment, U.S.A Congress, Washington, DC., 1992.

PARENTE, E. J. de S.; SANTOS JUNIOR, J. N.; PEREIRA, J. A. B.; PARENTE JUNIOR, E. J. de S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68p.

PENGUE, W. Producción agroexportadora e (in)seguridad alimentaria: El caso de la soja en Argentina. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, n. 1, p. 46-55, 2004.

PRETTY, J. N.; BRETT, C.; GEE, D.; HINE, R. E.; MASON, C. F.; MORISON, J. I. L.; RAYMENT, M. D.; VAN DER BIJL, G.; DOBBS, T. Policy and Practice: Policy Challenges and Priorities for Internalizing the Externalities of Modern Agriculture. **Journal of Environmental Planning and Management**, n. 44(2), p. 263-283, 2001.

RIBEIRO, P. C. **Biodiesel e a Inclusão Social**. Consultoria Legislativa, Câmara dos Deputados, Brasília, 2004.

ROZAKIS, S.; SOURIE, J. -C. Micro-economic modelling of biofuel system in France to determine tax exemption policy under uncertainty. **Energy Policy**, v. 33, p. 171-182, 2005.

SCHLESINGER, S.; LASCHEFSKI, K.; ASSIS, W. F. T.; RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. **Agronegócio + Agroenergia**: Impactos Cumulativos e Tendências Territoriais da Expansão das Monoculturas para a Produção de Bioenergia, 2006. Disponível em: <[http://boelllatinoamerica.org/download\\_pt/Agronegocio\\_e\\_biocombustiveis\\_POR.pdf](http://boelllatinoamerica.org/download_pt/Agronegocio_e_biocombustiveis_POR.pdf)>. Acesso em: 15 julho 2011

SCHLESINGER, S.; NORONHA, S. **O Brasil está nu!** O avanço da monocultura de soja, o grão que cresceu demais. Rio de Janeiro: Fase, 2006. 148 p.

SCHMIDT-BLEEK, F. MIPS re-visited. **Fresenius Environ. Bull**: 2, p. 407–412, 1993

SLESSER, M. (Ed.). Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions. **IFIAS**, Stockholm, Sweden, 1974. 89 p.

SOUSA, S. R. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

**WCED** Our common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WEHRMANN, M. E. S. de F. **A soja no Cerrado de Roraima: um estudo da penetração da agricultura moderna em regiões de fronteira**. 1999. 160 f. Tese (Doutorado em Sociologia) – Departamento de Sociologia, Universidade de Brasília, Brasília.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WRIGHT, H. J.; SEGUR, J. B.; CLARK, H. V.; COBURA, S. K.; LANGDON, E. E.; DUPUIS, R. N. A report on ester interchange. **Oil Soap**, n. 21, p. 145-148, 1944.

WWF. **Soy Expansion** – Losing Forests to Fields, 2003. Disponível em: <<http://assets.panda.org/downloads/wwfsoyexpansion.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2012

WWF. **Fatos sobre a produção de soja e os Critérios Basel**, 2006. Disponível em: <[http://assets.panda.org/downloads/sus\\_portug\\_factsheet\\_soja.pdf](http://assets.panda.org/downloads/sus_portug_factsheet_soja.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2011.