



Avaliação do ciclo de vida e sustentabilidade do biodiesel

Mariana Bittar

Monografia em Engenharia de Bioprocessos

Orientadores:

Oféliade Q. F. Araújo, Ph.D.

Claudia V. Morgado, D.Sc.

José Luis Medeiros, D.Sc.

Agosto de 2015

Avaliação do ciclo de vida e sustentabilidade do biodiesel

Mariana Bittar

Monografia em Engenharia de Bioprocessos submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.

Aprovado por:

Suzana Borschiver, D.Sc.

Rui de Paula Vieira de Castro, Eng.

Tiago Chagas de Oliveira Tourinho, MSc.

Orientado por:

Ofélia de Q. F. Araújo, Ph.D.

Claudia V. Morgado, D.Sc.

José Luis Medeiros, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Agosto de 2015

Bittar, Mariana.

Avaliação de ciclo de vida e sustentabilidade do biodiesel./ Mariana Bittar. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2015.

vii, 67 p,; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2015.

Orientadores: Ofélia de Q. F. Araújo e Claudia V. Morgado.

1. Avaliação de Ciclo de Vida. 2. Biodiesel. 3. Sustentabilidade. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ) 5. Ofélia de Q. F. Araújo, Ph.D. 6. Claudia V. Morgado, D.Sc.. I. Avaliação de ciclo de vida e sustentabilidade do biodiesel.

“Que a tua vida não seja uma vida estéril. - Sê útil. - Deixa rasto. - Ilumina com o resplendor da tua fé
e do teu amor...”

(Ponto 1 do livro Caminho)

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

À sociedade brasileira juntamente com a Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A Escola de Química e seu grupo de funcionários.

A ANP, mais especificamente ao PRH-41 e toda a equipe do Gestore que ele comporta.

Aos meus orientadores. A professora Cláudia que com toda a sua rjeza me ensinou as sutilezas de um trabalho sério e me deu noções de política. E a professora Ofélia, pois ao longo de todos esses anos na universidade sempre foi um exemplo ético de trabalho virtuoso e competente, orientando não só meus trabalhos acadêmicos, mas me ensinando que a vida tem um caráter transiente e por isso há necessidade de utilizarmos os mecanismos certos de controle.

Aos meus pais, por aceitarem com amor a jornada de me educar e mesmo com todas as intemperanças da vida foram sempre minha base e um reflexo da existência de Deus.

Aos amigos que formei durante esses anos, pois cada um contribuiu de alguma forma na concretização dessa etapa da vida.

A Maria Inês Lema Garcia e a todos da Família.

A Pedro Simas que insistiu com muito bom humor para que eu continuasse, mesmo nos momentos difíceis.

Resumo da Monografia apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro de Bioprocessos.

Título

Mariana Bittar

Agosto, 2015

Orientadores: Profa. Ofélia de Q. F. Araújo, Ph.D.
Profa. Claudia V. Morgado, D.Sc..

RESUMO

O presente trabalho aborda o panorama do setor de biocombustíveis no Brasil, mais especificamente da estrutura mercadológica do biodiesel. A cerca de dez anos sua presença na matriz energética brasileira tem grande importância socioeconômica. Inicialmente a mistura de biodiesel ao diesel mineral era de 2% e na atualidade tem-se 7%, mas há uma perspectiva, denominada pelo novo marco regulatório, por parte do governo brasileiro em aumentar tal participação. Sua principal matéria prima é a soja, apesar de outras oleaginosas terem maior percentual lipídico que a soja, essa tem se mantido predominante na base da cadeia produtiva. A comercialização é via Leilão da ANP, que ao longo dos anos foi se adaptando, porém ainda gera algumas divergências de opiniões, quanto ao adquirente essa sistemática é bastante vantajosa, pois se estipula a quantidade a ser comprada pelos produtores de diesel mineral, o preço máximo do biodiesel a ser vendido e o prazo de entrega, em contra partida defende-se a sistemática de um mercado livre para a comercialização. Outro ponto relevante é a capacidade instalada da indústria nacional de biodiesel, que atualmente é muito superior a sua produção efetiva, gerando grande ociosidade, que não está sendo absorvida facilmente. Tal fato tem impulsionado produtores e associações a pressionar governantes em prol da aprovação do novo marco regulatório, além de direcionar a indústria nacional à exportação. Há um movimento das empresas produtoras de biodiesel em conquistar certificações, que visam garantir que o biodiesel atende a critérios de sustentabilidades exigidos pela Diretiva Europeia de Energia Renovável (RED), sendo esse o continente mais promissor para o mercado brasileiro. Essas e outras questões são historicamente apresentadas e socioeconomicamente analisadas nos textos abaixo. Para isso a Avaliação de Ciclo de Vida do setor industrial da produção de biodiesel via rota metálica, proveniente de soja foi realizada. Mas também uma matriz de integração entre sustentabilidade e segurança foi elaborada, para que todos os pilares dos critérios de sustentabilidade sejam devidamente analisados.

Abstract of the Monograph presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfilment of the requirements for the degree of Bioprocess Engineer.

Título

Mariana Bittar

August, 2015

Supervisors: Prof.^aOfélia de Q. F. Araújo, Ph.D.
Prof.^aClaudia V. Morgado, D.Sc..

Abstract

This paper discusses the overview of the biofuels industry in Brazil, more specifically the marketing structure of biodiesel. Ten years ago until now its presence in the Brazilian energy matrix has a great socioeconomic importance. Initially the mixture of biodiesel with mineral diesel was 2% and today it has been 7%, but there is a prospect, denominated by the new regulatory mark, by the Brazilian government to increase this participation. Its main raw material is soybean, although other oilseeds have higher lipid percentage, soy has remained predominant on the basis of the production chain. Sales are made by ANP Auction, which over the years has been adapting, but still raises some diverging opinions. From the point of view of purchaser this system is quite beneficial, because it provides the amount to be purchased by producers of mineral diesel, the maximum price of biodiesel to be sold and the deadline. In otherwise defendeds the system of a free market for commercialization. Another relevant point is the capacity of the domestic biodiesel industry, which is currently much higher than their actual production, generating a high idleness, which is not easily absorbed. This fact has stimulated producers and associations to press governments to adopt the new regulatory framework, besides directing the domestic industry to export their products.

The companies that producing biodiesel has proven engaged in securing certifications intended to guarantee that the biodiesel meets the criteria sustainabilities required by the European Renewable Energy Directive (RED), this continent has proven to be the most promising for the Brazilian market. These and other issues are presented historically and socioeconomically analyzed in the text below. To study the environmental impacts of the process of biodiesel a Life Cycle Assessment was made. But as well-known sustainability is not only an environment way, there is a social and a safety parte, so a matrix was made to calculate the part of impact of every step of the process.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos do Trabalho.....	4
2	Fundamentação Teórica.....	4
2.1	Biodiesel.....	4
2.1.1	Estrutura e propriedades	4
2.1.2	Produção do Biodiesel a partir de óleo de soja.....	6
2.2	Matérias primas.....	8
2.2.1	Soja	10
2.2.2	Gordura bovina	12
2.2.3	Girassol, canola, algodão e outros.....	13
2.2.4	Microalgas	14
2.3	Estrutura socioeconômica	15
2.3.1	Mercado Interno	16
2.3.2	Mercado Externo	24
2.4	Sustentabilidade	32
2.4.1	Fundamentos, evolução e critérios.....	33
2.5	Avaliação de Ciclo de Vida	36
2.5.1	Definição de Objetivo e Escopo	39
2.5.2	Análise de Inventário	43
2.5.3	Avaliação de Impacto.....	44
2.5.4	Método de AICV	46
2.5.5	Interpretação	51
2.5.6	Utilização de softwares: SimaPro.....	51
2.6	Gestão em Segurança, Meio Ambiente e Saúde.....	52
3	Metodologia	56
3.1	Método AICV e ferramenta computacional.....	56
3.2	Definição do objetivo e escopo.....	57
3.3	Premissas.....	59
3.4	Construção de Inventário	60
3.4.1	Inventário do beneficiamento do gás natural.....	61
3.4.2	Inventário de produção de metanol.....	61
3.4.3	Inventário da extração de óleo de soja.....	64
3.4.4	Inventário da produção de biodiesel.....	65
3.5	Análise de ICV	66

4 Resultados e Discussões.....	67
4.1 Fluxo de Matérias Primas	67
4.2 Indicadores de sustentabilidade	70
4.2.1 Uso de recursos naturais.....	70
4.2.2 Uso de Energia total.....	71
4.2.3 Outros.....	71
4.3 Avaliação de impacto e interpretação.....	72
4.3.1 Quantificações.....	72
4.3.2 Avaliação em relação às diferentes categorias de impacto.....	74
4.3.3 Normalização e Ponderações.....	76
4.4 Matriz de Integração entre Sustentabilidade e Segurança.....	79
5 Conclusões	80
6 Bibliografia.....	81

Índice de Símbolos

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV Análise de Ciclo de Vida
ANP Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AP Acidification Potential
ASTM American Society for Testing and Materials
BEM Balanço Energético Nacional
BES Biodiesel etílico de soja
BMS Biodiesel metílico de soja
DME DimetilEter
DB Diclorobenceno
EP Eutrophication Potential
EPA Environmental Protection Agency
GWP Global Warming Potential
HTP Human Toxicity Potential
ICV Inventário de ciclo de vida
IPCC International Panel for Climate Change
ISSO Internacional para a Normalização
LCA Life CycleAssessment
MAPA Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MRI Midwest Research Institute
MP Material particulado
PM Peso molecular
REDUC Refinaria Duque de Caxias
RELAM Refinaria Landulpho Alves
REPA Resourceand Environmental Profile Analysis
REPLAN Refinaria do Planalto
SEBRAE Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

1. Introdução

O ser humano desde o século segundo vem estudando fontes renováveis de energia. Motivado por preocupações ambientais, tais como sucessivos desastres naturais promovidos pelo desequilíbrio ambiental, temáticas como o aquecimento global e efeito estufa, dominam congressos e pautas governamentais. Além disso, ao longo da história, crises econômicas mundiais afetam significativamente o valor do barril de petróleo e incentivaram a investigação de outras fontes de energia, a fim de diminuir a dependência do mesmo.

Segundo as Diretivas Europeias (Diretiva nº 2003/30/CE), entende-se por biocombustíveis, combustíveis de origem não fóssil, provenientes de biomassa, tais como, bioetanol, biodiesel, biogás, biometanol, bio-MTBE, biohidrogênio, bioquerosene e outros. Essas incluem óleos vegetais, gorduras animais, etanol a partir de culturas, essência de terebintina da madeira e outras. E todas essas fontes aparecem na história anteriormente à utilização de petróleo para iluminação, como era o caso do óleo de baleia (\$ 1,30 por galão na época), cozinha, aquecimento e transporte (Bailey, 1975).

A evolução do início da utilização do mesmo até os tempos atuais é definida em quatro diferentes épocas. Até o século 19, em lâmpadas e combustíveis primários para cozinhar. No início do século 20, em motores de combustão interna. Já no final do século 20, em motores de combustão interna, durante a escassez de petróleo da década de 1970. E a partir do início do século 21, quando preocupações globais sobre mudança climática, biodiversidade e sustentabilidade foram enquadradas no contexto mais amplo em debates de política energética.

Ainda, como a maioria dos primeiros motores, era adaptável a uma variedade de combustíveis, tais como o álcool ou benzeno. Inventor alemão Rudolph Diesel também projetou sua ignição do motor "diesel" compressão para combustíveis pesados de petróleo, mas ele também descobriu que amendoim, mamona e óleos de palma funcionaram muito bem. "Não se pode prever que parte destes (vegetais) vai jogar nas colônias no futuro", escreveu ele em 1912. "Em qualquer caso, eles tornam-se de que a potência do motor ainda pode ser produzida a partir do calor do sol, que está sempre disponível para fins agrícolas, mesmo quando todas as nossas lojas naturais de combustíveis sólidos e líquidos estão esgotados" (Knothe, 2011).

Alemanha criou a primeira indústria de biocombustíveis em larga escala do mundo, nas décadas anteriores à Primeira Guerra Mundial, como uma forma de promover o desenvolvimento rural e a autossuficiência nacional. O alemão Kaiser Wilhelm descobriu que poderia "satisfazer os

trabalhadores agrários descontentes", incentivando a utilização de álcool combustível feito a partir de batatas (London Times, 1902). Uma rede de pequenas destilarias agrícolas "Materialbrennereien" coloca o número em 6000 destilarias que produzem 66 milhões de litros de álcool por ano (Nathan, 1928).

As pesquisas nessa área progrediram de forma significativa, abrangendo interfaces entre engenharia agrícola, mecânica e química. Embora tais pesquisas, muitas vezes, sejam influenciadas por questões políticas, os cientistas compreenderam que o seu trabalho tem o potencial para moldar estas políticas a longo prazo (Bente, 1984). Muitos dos grandes cientistas e engenheiros do século 20 expressaram apoio entusiástico para os biocombustíveis, incluindo Rudolph Diesel, Henry Ford, Alexander Graham Bell, Harry Ricardo e Charles F. Kettering (Kovarik, 1998).

Seguindo os movimentos agrários na Alemanha, França e Estados Unidos, os biocombustíveis eram economicamente mais atraentes em países que produziam cana no início do século 20. Com o alto custo das importações de gasolina, e prontamente disponível equipamento de processamento de cana de açúcar, era natural que as nações em desenvolvimento iriam desenvolver biocombustíveis. Dois que foram especialmente ativos foram o Brasil e as Filipinas. A I Guerra Mundial obrigou a inovação em muitas maneiras. Na China e na Índia, onde a comida era escassa, o melão de cana de açúcar foi geralmente transformado em álcool para combustível. "Naquela época, o uso de álcool não foi mais uma questão de custo ou eficiência, mas de necessidade" (Nações Unidas, 1952).

O principal problema, porém, foi o aumento da disponibilidade de petróleo barato do Oriente Médio. Na década de 1950 programas de combustíveis alternativos foram abandonados. Só nos Estados Unidos misturas de álcool e gasolina continuaram a ser vendida pela empresa Cleveland Discol nos anos 1960.

Nos 25 anos após a Segunda Guerra Mundial, o consumo global de petróleo cresceu cinco vezes e meia eo mundo se tornou dependente do petróleo barato do Oriente Médio. As discussões sobre o aumento dos preços ainda tem entrado em pauta nas reuniões da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Durante anos a guerra no Oriente Médio afetou o fornecimento de petróleo, gerando crises energéticas internacionais.

A primeira crise energética também estimulou uma busca generalizada de fontes de energia alternativas, especialmente o "Pro-Álcool" Programa Nacional do Álcool no Brasil em 1975, envolvendo mistura obrigatória de cerca de 20 por cento de etanol na gasolina. Na mesma

época, os estados do Centro-Oeste americano, particularmente Nebraska, começou a pesquisar o potencial de etanol a partir do milho (milho) em uma mistura com a gasolina.

A segunda crise energética teve lugar quando a dissidência iraniana cresceu em outubro de 1978, havendo greve nas refinarias de petróleo do país, fechando cinco por cento das exportações mundiais de petróleo. Mais uma vez, levou a aumentos de preços, desta vez até 34,50 dólares por barril.

Atualmente o preço do barril de petróleo varia em torno de US\$ 56,93 (segundo plataforma de investimentos Rico, no dia 28/07/2015) e as principais motivações para produção de biocombustíveis tornaram-se a busca de fonte renováveis de energia para diminuir a dependência de produtos derivados do petróleo e as questões climáticas mundiais. O gráfico 1 abaixo apresenta a perspectiva atual e futura na matriz energética mundial.

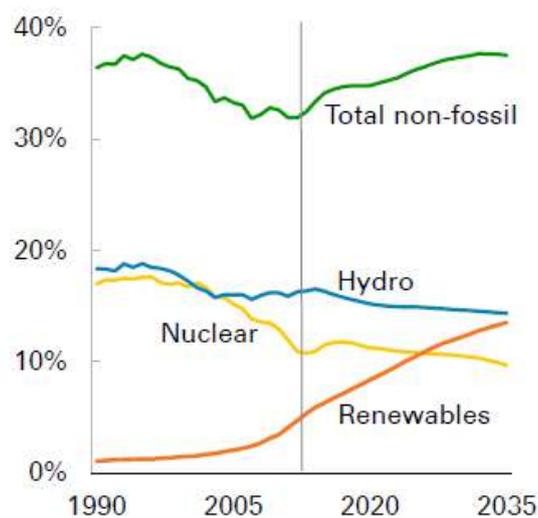


Gráfico 1: Projeção da matriz energética mundial, (Relatório da multinacional BP, 2015).

Nos últimos anos, sérias questões sobre os impactos dos biocombustíveis sobre as mudanças climáticas, direitos de alimentos, perda de biodiversidade (quando florestas tropicais são sacrificadas visando plantações de matérias primas energéticas) e sustentabilidade têm sido incorporado no contexto mais amplo de debates energéticos governamentais. Apesar da finalidade de tais combustíveis é justamente afastar-se da dependência da energia fóssil, promover o desenvolvimento rural e, no processo, evitar os piores impactos do clima mudar ao longo das próximas décadas e séculos (Gomez, 2008). Torna-se necessária uma detalhada avaliação sobre a origem e o processo de obtenção e transformação das matérias primas utilizadas na cadeia a fim de averiguar a sustentabilidade dos mesmos e suas influencias socioambientais.

1.1 Objetivos do Trabalho

O presente trabalho visa avaliar o ciclo de vida do biodiesel metílico de soja, analisando critérios de sustentabilidade, juntamente com a incorporação de ferramentas de gestão de segurança e saúde.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Biodiesel

Dentre a gama dos biocombustíveis, define-se biodiesel como óleo de origem vegetal, (Meher, 2004). Quimicamente, óleos de origem vegetal são constituídos de moléculas de triacilglicerídeos, que por sua vez são compostas de três ácidos graxos de cadeia longa ligados na forma de ésteres a uma molécula de glicerol. Podendo variar quanto à extensão da cadeia carbônica, o número, a orientação e a posição das ligações duplas (Hanna, 1999).

Entretanto, o uso direto desses como combustível em equipamentos torna-se inviável, devido a uma série de fatores limitantes. Esses possuem alta viscosidade, grande conteúdo de ácidos graxos livres, gerando combustão incompleta e baixa volatilidade, que resulta na formação de depósitos nos injetores de combustível das máquinas (Meher, 2004). Para contornar tal situação e torna-lo útil para combustão estudos com diluição, emulsificação utilizando solventes como metanol, etanol ou butanol; pirólise, craqueamento catalítico empregando sais metálicos e transesterificação com etanol ou metanol (Guariero, 2005). Dessa gama descrita, a transesterificação de óleos vegetais é atualmente o método mais utilizado, conseguindo reduzir a massa molecular para um terço em relação aos triacilglicerídeos, assim como reduz a viscosidade e aumenta a volatilidade. Dessa forma, ésteres de ácidos graxos possuem propriedades semelhantes as do diesel (Schuchardt, 1998).

2.1.1 Estrutura e propriedades

A estrutura dos triglicerídeos provenientes de transesterificação de óleos vegetais, é uma mistura de ésteres de ácidos graxos e glicerol, conforme esquematizado na Figura 1. A reação acontece através de um álcool na presença de uma base ou ácido forte, produzindo uma sequência de três reações, há formação de intermediários (Geris, 2007). Para a transesterificação ser completa, deve haver proporcionalidade molar 3:1 entre o álcool e o triacilglicerídeo (Schuchardt, 1998). Para aumentar o rendimento e facilitar a separação do glicerol formado, o álcool é adicionado em excesso.

Como visto no item anterior, a rota tecnológica mais utilizada é a metálica através de catálise básica, sendo escolhida como base deste trabalho. Para estabelecer o processo produtivo, o óleo de soja foi destacado como fonte de matéria prima, devido a diversos benefícios, os quais serão apresentados no próximo capítulo.

Esta etapa do trabalho foi elaborada através de visitas técnicas, juntamente com uma equipe de pesquisadores pertencentes ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH-41). Foi visitada uma fazenda produtora de grãos de soja localizada no Mato Grosso do Sul, em duas usinas, que realizam transesterificação de óleo vegetal, localizadas no Mato Grosso e duas indústrias de armazenam de grãos em ambos os estados. Tais visitas foram realizadas em Agosto de 2013 e fevereiro de 2014. Tendo em vista a uniformização estrutural do trabalho, como base para o processo produtivo, duas grandes indústrias foram consideradas. A primeira é o *Grupo Maggi*, que realiza em larga escala a armazenagem e todo o processo de extração do óleo de soja. E a segunda é a *Fiagril*, que realiza a etapa de transesterificação do óleo vegetal.

O processo de produção de biodiesel a partir do óleo de soja é simples e composto por diversas etapas. Essas são agrupadas em dois grandes grupos. O primeiro chama-se esmagamento e refere-se ao tratamento, preparação e extração do óleo bruto (Keila, 2008). Já o segundo, chama-se refino, e refere-se à transformação (reação química denominada transesterificação) do óleo bruto em biodiesel.

Iniciando o esmagamento, depois da colheita, a soja que chega à unidade de esmagamento, onde primeiramente há um pré-tratamento. Esse consiste, basicamente, em uma pré-limpeza feita através de peneiras, que eliminam os diâmetros de partículas impertinentes, tais como pedras, que poderiam danificar os equipamentos subsequentes. Em seguida há secagem e armazenamento dos grãos de soja, pois segundo especialistas locais e estudiosos (Dorsa, 2004) esses devem conter umidade máxima em torno de 12%, para evitar deterioração de equipamentos e proliferação de microrganismos na estocagem (condições controladas de umidade, luminosidade e outros fatores), além de aperfeiçoar a inicialização do processo de esmagamento. Segundo Sheehan (1998), nesta etapa há perda de 0,79% dos grãos.

Os grãos que estavam devidamente armazenados são recolhidos para o início do processo. Que começa com a secagem, realizada em secadores verticais com sopradores horizontais, *design* semelhante aos trocadores de calor “casco-tubo”, por onde passa o gás quente de combustão (proveniente da lenha de eucalipto, que é cultivada dentro da propriedade industrial). “Requerendo 1940 kcal/kg de umidade removida e considerando que o calor latente

de vaporização da água é de 610 kcal/Kg, correspondendo a uma eficiência térmica de 31%” (Alejos, 2013).

Logo após a secagem os grãos são preparados para a futura extração. Isso ocorre através da moagem, que consiste na quebra do grão por meio de rolos cilíndricos. A primeira quebra acontece formando de duas a quatro partes, depois há uma quebra subsequente, em que os grãos são quebrados de seis a oito partes. Depois acontece o descascamento, que acontece através de uma câmara de fluxo de ar, por diferença de densidade, onde a casca é enviada para a unidade de processamento de farelo animal. Em seguida pedaços são condicionados até 60°C, aumentando assim a plasticidade dos grãos. Esses por fim são laminados até atingirem cerca de 0,2mm, por rolos de aço inox horizontais, que realizam a compactação e expansão, com a finalidade de aumentar a área superficial, facilitando a atuação do solvente na etapa de extração. Segundo Alejos, essa massa tem maior densidade aparente e maior capacidade de percolação, aumentando a capacidade de extração.

Esses *flakes* são encaminhados para o processo de extração. No caso avaliado o extrator é do tipo esteira contínua, em que a massa laminada recebe um “banho” de solvente, com uma proporção de 1,2 Kg de solvente/Kg de massa laminada, gerando uma micela que contém entre 19 e 24% de óleo (Sheehan, 1998). Sendo que o farelo deve conter no máximo 1% de óleo (Dorsa 2004), isso contabiliza cerca de 96% de eficiência. O farelo que sai do extrator ainda contém grande quantidade de solvente, por isso o farelo passa em fluxo descendente, dotados de camisa de vapor e fundo duplo, sob a injeção de vapor e subsequente ar frio, contendo no final, apenas, cerca de 400ppm (Alejos, 2013).

Na posterior etapa de recuperação do solvente, a mistura óleo e solvente (micela) é evaporada (teor de solvente no óleo é de 120mg/L), a partir de evaporadores tubulares verticais e injeção de vapor direto. O solvente recuperado nesta etapa é recirculado e reaproveitado no processo.

Subsequentemente acontece a etapa de degomagem e neutralização, através da centrifugação por densidade, para a retirada da goma. Essa é os fosfolipídios ou fosfatídios que os óleos vegetais contêm. O óleo de soja extraído a partir das etapas anteriores contém cerca de 90% de gomas hidratáveis e 10 % de gomas não hidratáveis, totalizando cerca de 1,1 a 3,2%. As primeiras são facilmente removidas, através da diluição em água quente (1 a 2% em peso de óleo bruto). Nesse subprocesso o óleo bruto é aquecido a 70-90°C e imediatamente misturado com água quente (90°C) e centrifugado, para separação da goma. Posteriormente, através de refino alcalino (soda caustica) as gomas não hidratáveis são removidas. E em seguida há retirada de

água do óleo, através de um decantador e o resfriamento do óleo. O Anexo I apresenta o fluxograma detalhado destas etapas do processo (destacadas em vermelho).

Esse óleo bruto de soja é transportado através de um oleoduto para a indústria, em que a etapa de refino acontece. Esse óleo bruto passa por um pré-tratamento, para remoção de impurezas, ácidos graxos livres e umidade. Como foi descrito acima esses acarretam saponificação, que por sua vez diminui o rendimento e torna o produto final fora de especificação. A solução é neutralizada, sendo aquecida até 70°C e reagindo com hidróxido de sódio, removendo assim os ácidos graxos livres. Para a retirada de possíveis sabões, a mistura é centrifugada e lavada (duas etapas de lavagem com água quente 70°C), em seguida o óleo já neutralizado é aquecido e passa pelo secador a vácuo.

O óleo pré-tratado reage com o metanol (1:6) a 65°C. Duas fases são, então, formadas. A fase metilester sofre duas lavagens com água quente, aquecimento a 110°C e posterior secagem a vácuo e resfriamento. A fase glicerol, juntamente com o efluente de lavagem da fase biodiesel (visando recuperar o metanol), é destilada, o produto mais denso (glicerina) é refinado e comercializado e o produto mais volátil (metanol) é reaproveitado no processo. O Anexo I apresenta o fluxograma detalhado destas etapas do processo (destacadas em azul).

2.2 Matérias primas

Uma vasta gama de matérias primas pode ser utilizada como matéria prima na transesterificação. Entre os mais estudados encontram-se os óleos vegetais, tais como, os de soja, dendê, canola, algodão, mamona, girassol, palma, amêndoa, babaçu, cevada e coco. Esses são só alguns dos provedores de óleos mais utilizados na indústria e na maior parte dos estudos brasileiros, em contrapartida na União Europeia o mais utilizado é o óleo de canola e nos EUA são os óleos de palma e de soja (Sanz Requena, 2011). A composição diversificada de seus ácidos graxos é um fator que influencia nas propriedades do biodiesel (Pinto, 2005).

A utilização de óleo vegetal apresenta como vantagens frente ao diesel de origem fóssil o armazenamento de energia solar como energia química via fotossíntese, o sequestro de CO₂ decorrente deste armazenamento de energia solar produzindo biomassa

Além de óleos de origem vegetal, existem também os óleos provenientes de gordura animal, os óleos de reuso e os óleos provenientes de microrganismos fotossintéticos, como é o caso das microalgas, que possuem um futuro promissor, devido ao sequestro de CO₂, ao fato de seu cultivo não representar agressão à biodiversidade e não sofrerem os efeitos de sazonalidade,

além de poderem ser cultivadas em áreas inférteis e degradadas, não competindo no uso industrial e nem com o consumo humano.

Neste cenário, diversos países têm procurado incorporar em suas matrizes energéticas mais recursos renováveis. Abaixo, na Figura 2, destacam-se os principais países produtores de biodiesel, sendo o gradiente de cor proporcional à produtividade.

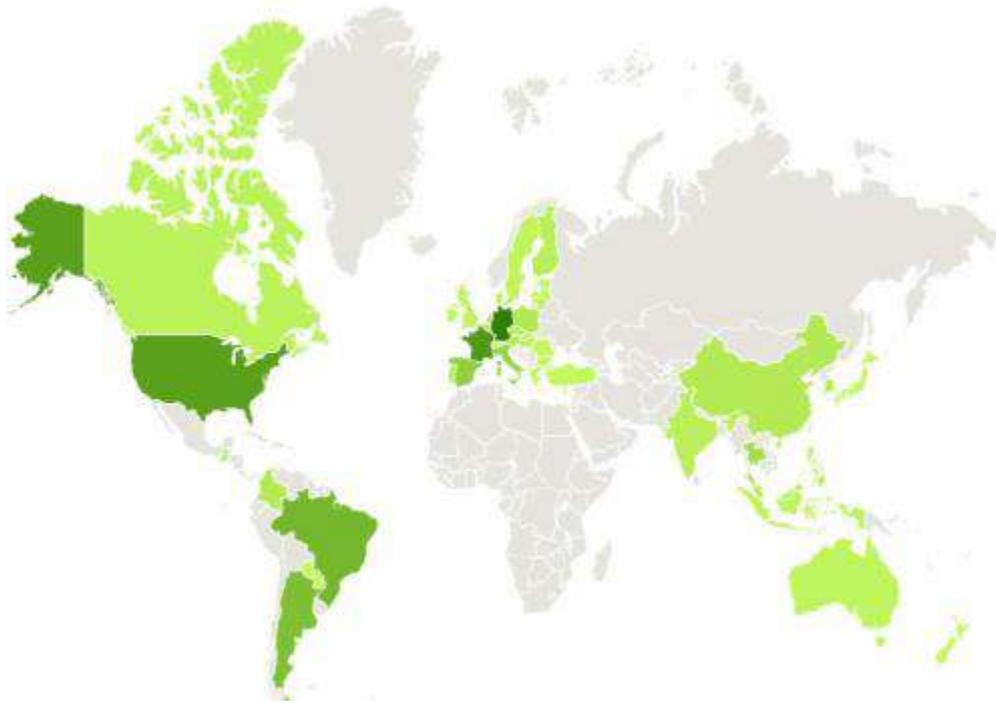


Figura 2: Distribuição da produtividade mundial de biodiesel (Tavora, 2012).

Logicamente, a escolha da matéria prima, passa a ser influenciada muito além dos fatores como as propriedades físicas e químicas, mas também pelos preços e disponibilidade de cultivo regional ou ainda capacidade de acesso da mesma, além das questões sociopolíticas. Um país que, por exemplo, possua o solo e as condições ambientais adequados ao cultivo de soja, optará por essa como principal matéria prima na produção do biodiesel.

Países que possuem pouca disponibilidade de recursos naturais são obrigados a importar. Porém esses podem importar diretamente o produto acabado, o que economicamente é menos vantajoso, ou pode optar por adquirir a matéria prima e transformá-la em indústrias locais, o que além de ser mais barato, é rentável ao país como um todo, pois corrobora na industrialização e geração de empregos.

Por isso, dentre tantas variáveis e opções de matérias primas algumas foram selecionadas para um estudo mais detalhado neste trabalho. Essas foram selecionadas por já

possuírem suas estruturas industriais bem elaboradas e aplicadas, um mapeamento mundial definido e perspectivas de crescimento.

2.2.1 Soja

Desde o início da produção do biodiesel no Brasil o óleo de soja tem grande participação como matéria prima. O setor já produzia em escala, estava consolidado, apresentava alta performance e era competitivo no mercado internacional (Mendes, 2013). Sabe-se que 80,0% da matéria prima para biodiesel é soja e que seu teor de óleo é em torno de 21% (Regitano, 2013). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento a produção de soja em 2013 chegou a 3,3 toneladas/hectare o que corresponde a 81,3 milhões de toneladas, estimando um crescimento de 21,8% para os próximos dez anos. Considerando em média 2,8t/há/ano de grão de soja, isso representa 510 Kg de óleo bruto (Bart, 2013).

A utilização dessa soja não é restringida ao biodiesel, há demanda para ração animal e consumo humano. Porém a demanda com maiores perspectivas de crescimento é para utilização como matéria prima do Biodiesel. A primeira venda de biodiesel no ano de 2015 alcançou cerca de 699 milhões de litros e a Abiove (Associação brasileira da indústria de óleos vegetais) espera um crescimento de cerca de 10 milhões de toneladas nos próximos anos (Biodieselbr, 02/2015).

Questiona-se a permanência da soja como majoritária, devido ao fato de outras sementes vegetais possuírem maior teor de óleo e terem mais ciclos e meses de colheitas anuais. Porém a soja apresenta um processo produtivo bem definido e elaborado, além de mais barato e simples, por tanto tem permanecido predominante até os tempos atuais (Milazzo, 2013).

Analisando-se o gráfico da participação das matérias primas na produção do biodiesel brasileiro, observa-se que a soja apesar de, em 2008, ter sua participação reduzida de 75% para 69%, a mesma não foi impactada por outros óleos vegetais, e sim pela gordura bovina, cuja participação subiu de 17,79% para 26,18%. O óleo de algodão teve sua participação diminuída. Os outros óleos vegetais não representam hoje nem 0,5% de participação na composição do biodiesel, como podemos perceber no gráfico 2, que mostra a evolução do acumulado anual de 2008 a 2013.



Gráfico 2: Participação das matérias-primas usadas na produção do biodiesel (MME, 2014).

Em estudos anteriores (MENDES, 2009), defendeu-se a ideia que por conta do óleo vegetal empregado na produção do biodiesel representar de 80 a 85% do custo de produção, se faz necessário encontrar outra cultura mais eficiente que substitua a soja. Porém todas as opções apresentadas (mamona, pinhão-manso, algas e outras) não tiveram até hoje uma aplicação economicamente viável. Outro fator relevante que contrargumenta tal dado, é dentre os principais produtos agrícolas efetivamente produzidos no Brasil, a soja apresenta o terceiro menor preço, perdendo somente para o arroz e o milho, como pode ser observado na tabela 1.

Produto	Unidade	Histórico
Trigo	R\$/t	491,4
Soja	R\$/SC 60kg	47,6
Milho	R\$/SC 60kg	23,6
Boi	R\$/@	61,8
Arroz	R\$/SC 50kg	25,9
Algodão	Cent./libra peso	132,2

Tabela1: Preços recebidos pelos produtores do Brasil (MAPA, 2013).

Obviamente o cultivo da soja apresenta dificuldades. No primeiro quarter de 2014 devido o abundante volume de chuvas. A análise da CEPEA (relatório da CEPEA/ESALQ/USP – 07/02/2014) mostra que “o mês de fevereiro foi marcado por condições climáticas desfavoráveis às lavouras de soja no Brasil. A estiagem em grande parte das regiões produtoras dificultou o desenvolvimento do grão, enquanto que, em Mato Grosso (maior produtor nacional), foi o excesso de chuva que prejudicou as lavouras em desenvolvimento e a colheita. O suporte veio também da baixa disponibilidade de oleaginosa nos Estados Unidos e do dólar elevado frente a

uma cesta de moedas. Com isso, o preço médio da soja no Brasil em fevereiro atingiu o maior patamar real para o mês em 10 anos”. Fato que acaba por influir diretamente na produção do biodiesel. Apesar disso a soja ainda é a matéria prima mais utilizada, é o que mostra a tabela 2 com o percentual de utilização das matérias primas utilizado neste ano por diferentes regiões brasileiras, destacando-se a superioridade no uso da soja.

Matéria-Prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de Soja	82,92%	63,11%	87,08%	34,18%	68,48%
Gordura Bovina	15,12%	36,89%	11,11%	60,85%	29,07%
Óleo de Algodão			0,68%	3,80%	
Outros Materiais Graxos	1,96%		0,19%		0,46%
Óleo de Fritura usado			0,81%	1,17%	0,52%
Gordura de Porco			0,03%		1,43%
Gordura de Frango			0,10%		0,04%
Óleo de Palma / Dendê					

Tabela 2: Percentual de utilização de matéria prima para produção de biodiesel por região (ANP, 2015).

2.2.2 Gordura bovina

Como foi avaliada no item anterior, a soja nos últimos anos perdeu espaço para a gordura bovina. Essa teve seu consumo acrescido em cerca de 10% nos últimos dois anos. Tal aumento foi devido primeiramente ao aumento na produção de carne bovina, que segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento cresceu 5% nesses últimos anos e possui um sistema agroindustrial em expansão. Cerca de 30% e 40% do sebo bovino brasileiro é destinado à produção de biodiesel (Reporter Brasil, 2009; Filho, 2007).

Além disso, outros fatores que corroboram para o uso de tal matéria prima são a facilidade de captação da mesma, pois ambos os processos se encontram nas mesmas localidades rurais, logo vários dos criadouros, abates e frigoríficos de gado são muito próximos ou de fácil acesso das plantas produtoras de biodiesel, as quais por sua vez podem operar com as duas matérias-primas. E como se trata de um subproduto da cadeia produtiva de carne bovina, essa é captada através de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos dos frigoríficos, supermercados e casas de carne, conseguindo ser comercializada a um preço acessível. Como mostra o gráfico 3, a

gordura bovina tem um espaço significativo no perfil nacional da matriz primária para o biodiesel.

Janeiro / 2015

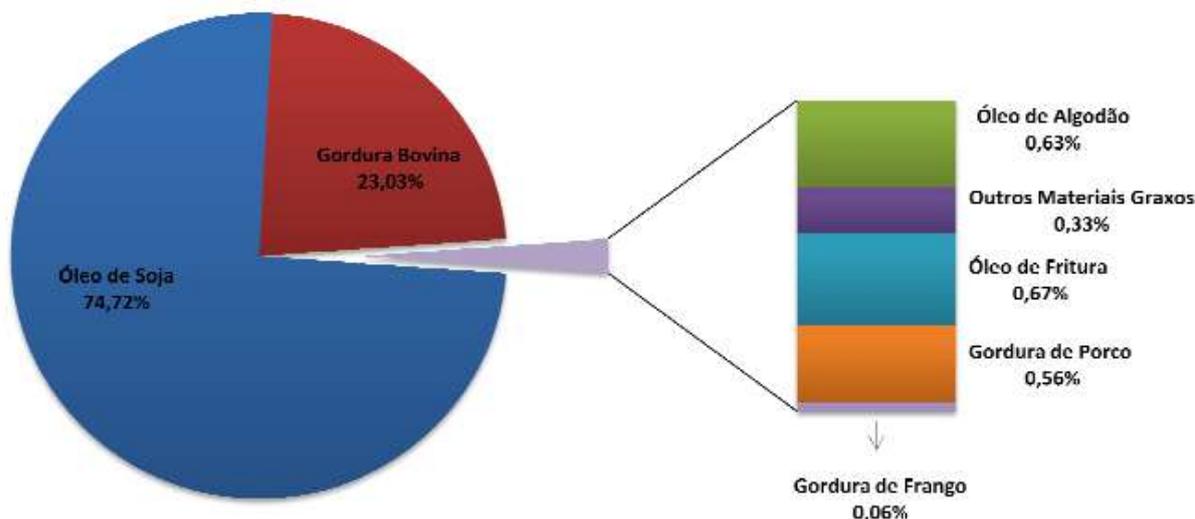


Gráfico 3: Matérias primas para produção de Biodiesel nacional, destacando-se a gordura bovina (Relatório da ANP, 2015).

2.2.3 Girassol, canola, algodão e outros

Existe uma vasta gama de oleaginosas que podem servir de matéria prima para o biodiesel, inclusive várias delas apresentam maior quantidade de óleo no grão do que a soja, podendo apresentar alguns benefícios tanto no plantio quanto em critérios de sustentabilidade. Dos grãos provedores de óleos vegetais o girassol é o que apresenta maior teor de óleo, chegando a 55%. Logo em seguida vem o amendoim com 47%, à canola (colza) com 42% e o algodão com pluma com 20% (Regitano, 2013). Avaliações europeias mostram que o óleo de girassol causa menor impacto ambiental, pois a quantidade de terra utilizada no plantio do mesmo é menor, logo a quantidade de fertilizantes e herbicidas é menor (Requena, 2011).

No Brasil tais matérias primas, apesar de possuírem alto teor de lipídeos (responsável pelo óleo vegetal) não são utilizadas para a produção de biodiesel em larga escala. Primeiramente, pois a composição de ácidos graxos é afetada pela temperatura média de cultivo, isto é, quanto mais baixa a temperatura maior será o teor de ácidos graxos, fato que o torna inapropriado no Brasil, tendo em vista as elevadas temperaturas. Além disso, a maioria deles contem ceras nas cascas, que podem ser arrastadas para o óleo durante a extração o que dificulta

o processamento. Outro fator são suas propriedades emolientes e não comedogênicos, podendo ser utilizados na fabricação de sabonetes, batons e cremes (Regitano, 2013).

Tais fatores aumentam o valor agregado desses óleos, que juntamente com a falta de uma estrutura industrial bem definida acabam sendo marginalizados quando competem com a soja. Porém é crescente o número de estudos com tais materiais e possivelmente com o desenvolvimento de novas tecnologias esses alcançaram um maior espaço dentro o grupo de insumos do biodiesel comercial.

A mamona, por sua vez, é muito tolerante a escassez de água, por isso, torna-se uma alternativa aos produtores do semiárido nordestino, região pobre e com potencial de produção limitado para outras culturas. Além disso, a produção é intensiva em terra e mão-de-obra estando, portanto, de acordo com o objetivo de inclusão de um grande número de agricultores familiares (Sampaio, 2010).

Existem iniciativas governamentais para desenvolver e utilizar o pinhão-mansão como matéria prima. Esse apresentaria maior produtividade que as outras culturas vistas acima. Possuindo algumas vantagens, tais como o fato de não competir com alimento humano, ter baixo custo de implantação e manutenção agrícola, necessitar de grande mão de obra não qualificada, devido à colheita ser manual, podendo ser cultivado em solo semiárido, ser produtivo o ano todo e possuir uma alta produtividade, cerca de 2 t. de óleo/há, (Costa, 2013). Apesar de todas essas vantagens, especialistas ainda buscam definir maiores detalhes sobre sua cultura, resistências a doenças e pragas, além do fato de que há um período inicial de dois a três anos de baixa produtividade. Isso significa que há elevada necessidade de capital de giro no início da atividade agrícola, segundo André Mendes (relatório do BNDES, 2013).

2.2.4 Microalga

Com a motivação de avançar tecnologicamente no emprego de novas matérias primas na produção de energia renovável, mais especificamente o biodiesel, é cada vez mais recorrente a produção científica de estudos voltados à utilização de microalgas. Existem centenas de espécies diferentes, com teor de óleo e propriedades distintas, que surgem como um desafio promissor.

Especificamente, o biodiesel derivado de microalgas, apresenta algumas vantagens frente às demais matérias primas apresentadas anteriormente. Essas resumem-se em altas taxas de crescimento quando comparadas com cultivo de oleaginosas, alta produtividade em uma gama diversificada de bioprodutos. Somem-se a estes aspectos, o fato do cultivo de microalgas não representar agressão à biodiversidade e não sofrerem os efeitos de sazonalidade comuns a

vegetais superiores. Também digno de destaque é o fato de, por crescerem em fotobiorreatores (ou lagoas) podem ser cultivadas em áreas inférteis e degradadas, e poderem usar água salobra, o que significa não competir com o uso industrial ou no consumo humano (Chist, 2007).

2.3 Estrutura socioeconômica

Neste subcapítulo outras questões que não de processo, mas que afetam o mesmo, serão discutidas. De fato grande parte da estrutura produtiva do biodiesel inicia-se no setor de agricultura, devido à complexidade das variáveis no cultivo da matéria prima. Tal fato é devido não somente às questões ambientais, tais como de sazonalidade, condições climáticas desfavoráveis, infestações de pragas e debilidade nutritiva do solo, como também às questões sociais de uso da terra. Além disso, questões como o sistema de comercialização, a competição, a formação de preços, margens, incentivos e regulamentações governamentais influenciam na dinâmica econômica e social que a estrutura do biodiesel engloba.

A utilização do biodiesel no Brasil foi impulsionada, em dezembro de 2004, pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), a fim de introduzi-lo na matriz energética brasileira e promover a inclusão social, além do desenvolvimento regional. Porém somente em no ano de 2005, pela Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005 sua obrigatoriedade em mistura com diesel foi implementada (Costa, 2013).

Na primeira etapa desse processo a mistura do biodiesel no diesel mineral era de 2% (B2). Essa obrigatoriedade legal se desenvolveu positivamente, atendendo a todas as expectativas do governo e dos trabalhadores. Dessa forma o governo, em um curto período, promulgou o B3 e assim sucessivamente antecipando de 2013 para janeiro de 2010 a implementação do B5. E somente no ano de 2014 com a implementação do novo marco regulatório a obrigatoriedade passou a ser de 7%.

Em outros países essa mistura se dá em proporções muito mais elevadas, como é o caso do Reino Unido, o qual possui trens rodando com B20, o trem norte americano do estado de Washington, que utiliza 25% de biodiesel (BBC news-17/11/2007) e os trens e ônibus dos parques da Disneylandia, que utilizam 98% de biodiesel proveniente do reuso de óleo de soja (UPI-16/03/2009). Esses são somente alguns dos muitos exemplos de iniciativas existentes.

No Brasil, essa pequena participação de porcentagem de biodiesel no diesel mineral tem como principal funcionalidade ser um aditivo, não ocasionando nenhuma adaptação dos motores. E considerando que na expansão da fronteira mercadológica do mesmo, a real finalidade na utilização do biodiesel é ampliar o consumo de um combustível não fóssil, consumindo

uma energia que seja renovável e diminuindo a dependência do petróleo, além de reduzir a emissão de gases tóxicos e poluentes. Questiona-se a desaceleração na evolução da proporcionalidade na mistura no Brasil e quais são as perspectivas e desafios desse setor industrial.

Existem, também, especulações a cerca do impacto inflacionário no mercado de biocombustíveis e a desvalorização da moeda nacional frente ao dólar no último ano, que tornou as importações de diesel muito impactantes na balança do país. O aumento na mistura de biodiesel no diesel contribuiria, assim, para a redução no volume de diesel importado. Como mostra o penúltimo Boletim Mensal de Biodiesel, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), tal medida implicaria na redução de US\$1,4 bilhão na economia do país, pois esse importa em média 8,74 milhões de m³ de diesel por ano.

2.3.1 Mercado interno

No Brasil a comercialização do biodiesel é exclusivamente realizada através de Leilões da ANP. Em maio de 2012 o governo mudou a forma dos leilões permitindo a negociação direta entre os produtos e as distribuidoras, diminuindo a interferência da ANP e da Petrobras no processo, a nova sistemática foi implantada já no 26º leilão (junho de 2012).

Inicialmente houve algumas contrariedades na dinâmica dos leilões, como por exemplo, a postura muito agressiva de algumas empresas. Essas intensificaram a competição a ponto de quase zerar sua margem no dia do leilão. Mas posteriormente algumas dessas empresas enfrentaram dificuldades financeiras e a dinâmica tornou-se mais equilibrada. Além disso, como o preço do biodiesel é fixado por três meses após o leilão, e o óleo de soja por outras questões mercadológicas aumentava de preço e muitos produtores passavam, simplesmente, a não produzir e entregar o volume de biodiesel conforme estava no contrato. Como o ocorrido no ano de 2008, em que o volume entregue durante o ano foi muito aquém do volume leiloadado (MENDES, 2009).

Tais situações geraram a imposição de uma nova regra da ANP no leilão, que passou a exigir um limite mínimo de 90% de entrega do volume de contrato. Hoje algumas empresas estão entregando até pouco mais desse volume e outras chegam bem perto de atender plenamente suas cotas, como aconteceu no 33º Leilão. O gráfico 4 apresenta o desempenho médio das entregas nos leilões de biodiesel, desde 2011 até o 35º leilão.

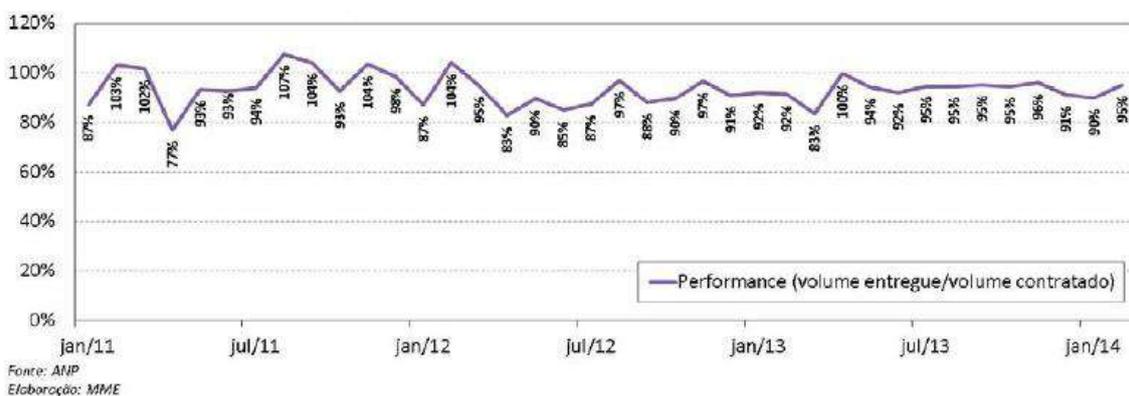


Gráfico 4: Desempenho médio das entregas nos leilões de biodiesel. Fonte: Boletim mensal de Biocombustíveis (MME, nº74).

A partir do 34º leilão o processo foi bastante simplificado pela ANP, que passou a exigir dos interessados apresentação de somente três documentos (o Registro Especial da Receita Federal, o Selo Combustível Social e a Certidão Negativa de Débitos Trabalhistas).

O leilão é público e sua dinâmica é realizada em seis etapas. A primeira constitui na habilitação dos fornecedores. A segunda é a etapa onde os mesmos apresentam suas propostas. Na terceira os adquirentes (sendo a Petrobras considerada o único) selecionam as ofertas, somente de fornecedores detentores do Selo Combustível Social. A quarta constitui em uma reapresentação das ofertas. A quinta da seleção dessas demais ofertas. E finalmente a sexta é a consolidação e divulgação do resultado final. Os vencedores do leilão são aqueles que ofertam os menores preços associados a um determinado volume.

Caso a Petrobras necessite de maiores volumes, a própria realizará outros leilões. O grande diferencial deste para o leilão da ANP (realizado no início do processo, em meados de 2004) é o fato que neste, o custo do frete é integralmente do produtor. Além disso, existe uma punição para os produtores que faltarem ao compromisso com a entrega do volume cotado, esses não poderão participar de dois leilões subsequentes.

A evolução dos leilões de biodiesel, segundo o Ministério de Minas e Energia, possibilitou que os adquirentes (Petrobras) escolham as usinas de acordo com as suas necessidades e mediante consulta às distribuidoras. Pontos importantes como qualidade, regularidade de suprimentos e confiabilidade do fornecedor foram incorporados à regulamentação dos leilões, além da sistemática de preços e fatores logísticos que já faziam parte do mesmo. A margem de intermediação do produto também passou a ser descontada, repassando para as usinas os valores adicionais de revenda do biodiesel.

No último ano a ANP habilitou quarenta e três empresas para apresentarem suas propostas em função da região, do Selo Combustível Social e do preço máximo estipulado referencialmente, totalizando 699,2 milhões de litros, sendo 97,9% de produtores detentores do selo Combustível Social. Foram arrematados mais 549,6 milhões de litros de biodiesel no 35º leilão de biodiesel. Incluindo os tributos federais (Pis/Pasep e Cofins), o preço médio de aquisição foi de R\$ 1,935,36/L, desprezando a margem do adquirente de R\$0,030 por litro. A movimentação financeira total do último leilão promovido pela ANP, segundo o boletim do Ministério de Minas e Energia, foi de R\$ 1,080 bilhões. Através do gráfico 5 identificam-se os volumes e os preços médios por unidade produtora e o desempenho de venda por unidade produtora, até o 34º leilão.

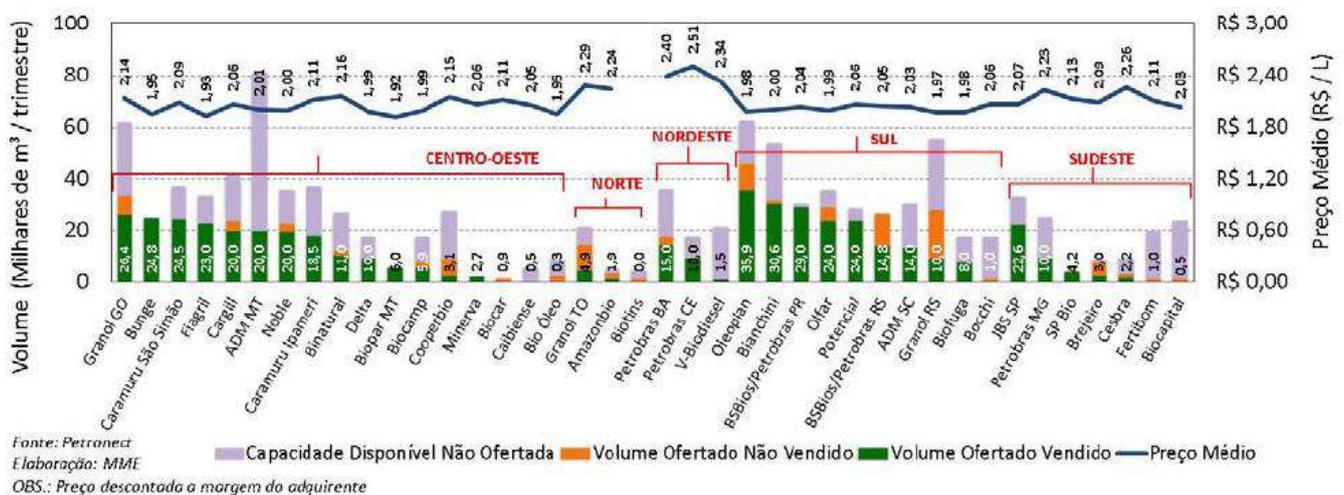


Gráfico 5: Volumes e preços médios por unidade produtora de biodiesel (ANP, 2014).

Do ponto de vista do adquirente, sendo a Petrobras a principal e única compradora, os leilões de biodiesel são providenciais, pois a ANP estipula a quantidade a ser comprada pelos produtores de diesel mineral, o preço máximo do biodiesel a ser vendido e o prazo de entrega. E como o preço está referenciado na porta do produtor e não do consumidor final, os leilões acabam por oferecer ao comprador sempre o menor preço a um determinado volume em cada lote leilado.

O gráfico 6 apresenta a variação de preço de venda do produtor com os devidos encargos (PIS/COFINS e CIDE, sem ICMS) ao longo dos últimos leilões. E logo abaixo o gráfico 7, com a margem bruta de revenda para as distintas regiões. Comparando ambos pode ser percebida a disparidade na relação entre os preços estipulados nos leilões e os preços de venda da mistura B5 ao consumidor.

O preço do biodiesel sempre apresentou pouca competitividade em relação ao diesel derivado do petróleo, mesmo no período antecessor ao apresentado pelo gráfico 6. Porém, a partir de dois anos atrás tal disparidade tem diminuído, pois desde o início de 2010 tem havido uma elevação no preço do diesel acompanhado de uma diminuição do preço do biodiesel. Além disso, existe a atual dependência do país em relação à importação de óleo diesel, que segundo o MDIC, cresceu nos últimos dez anos cerca de 14% por ano. Juntamente com a desvalorização corrente do real frente ao dólar, tornando tais importações ainda mais impactantes. Estas tendências são apresentadas como o principal argumento da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) em prol do aumento de biodiesel na mistura.

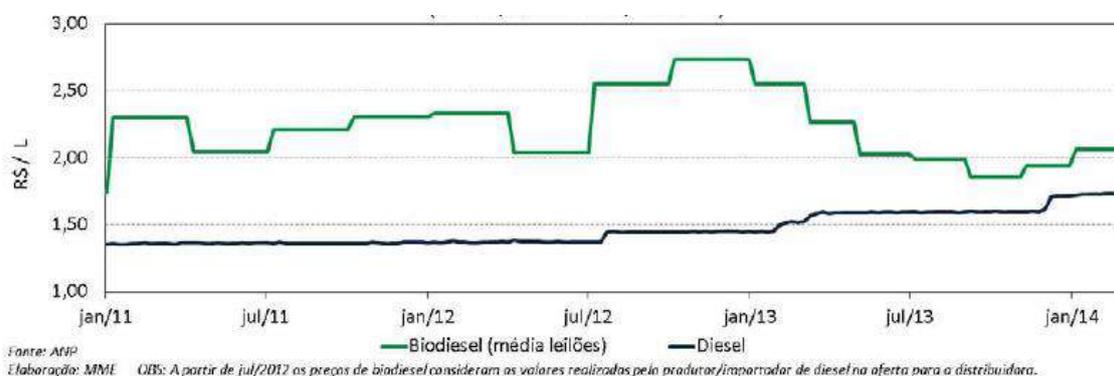


Gráfico 6: Preço de venda do produtor até o 35º leilão (ANP, 2014).

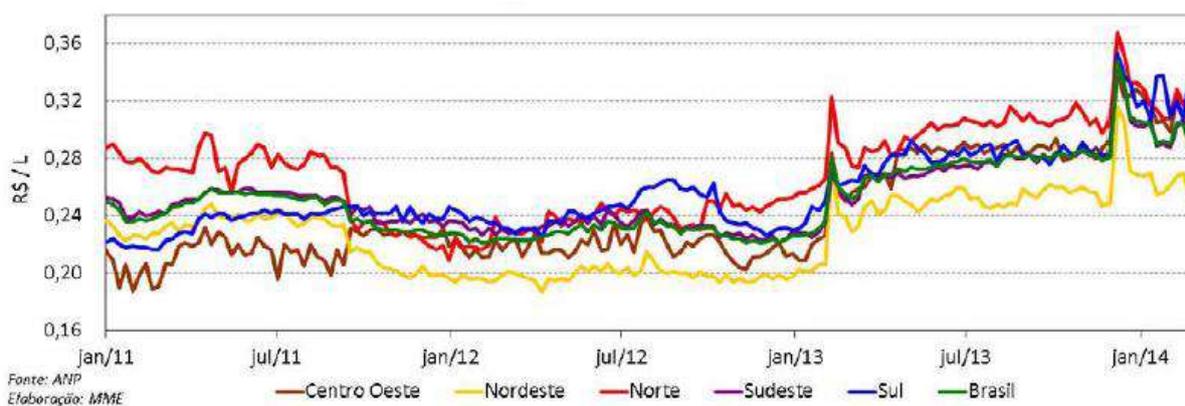


Gráfico 7: Margem bruta de revenda até o 35º leilão (ANP, 2014).

Alguns agentes do setor defendem a sistemática de um mercado livre para a comercialização do biodiesel e o fim dos leilões intermediados pela ANP, restringindo a mesma apenas como um órgão fiscalizador. Porém apesar de demonstrar um comportamento unilateral, a dinâmica do leilão, segundo o analista do BNDES Ricardo Cunha (MENDES, 2009), evita a formação de assimetria de informação, além de igualar as possibilidades de grandes e pequenos produtores na disputa.

As diferenças regionais entre os grandes centros produtores também é um ponto a ser avaliado, a fim de minimizar a desigualdade social e permeabilizar a entrada de produtores de economia familiar. Como foi destacado nos gráficos acima, a diferença regional impacta tanto no volume produzido e comercializado, como também nos preços e margens bruta. A figura 3 mapeia as regiões que quantitativamente possuem mais plantas operando e os volumes das mesmas.

Segundo o eng. Agrônomo Décio Gazzoni a diferença competitiva se dá principalmente ao fato de existirem empresas integradas, que são aquelas que “plantam ou comercializam a matéria prima (soja, girassol, algodão, etc.), esmagam o grão dessa cultura para produzir o óleo vegetal e produzem o biodiesel com base nesse óleo vegetal”. Essas, por sua vez “têm a opção de vender o grão, vender o óleo vegetal ou vender o biodiesel”. E obviamente acabam por comercializar o produto que possui a maior margem. E acabam por ser mais competitivas e mais eficientes na comercialização, o que dificulta ainda mais a participação de pequenos agricultores e produtores.

As regiões do Centro-Oeste e Sul destacam-se em volume produzido, sendo os estados do Mato Grosso e Rio Grande do Sul os maiores produtores do país. Apesar disso, os estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso apresentam o maior número de pequenos agricultores, o que corrobora para a diminuição da desigualdade social na área rural e promove melhor distribuição de terra. Estados como o Mato Grosso do Sul e principalmente Rondônia devem ser observados com maior cuidado pelo governo, pois esses só apresentam pequenos produtores, que necessitam de mais incentivos para se tornarem competitivos.

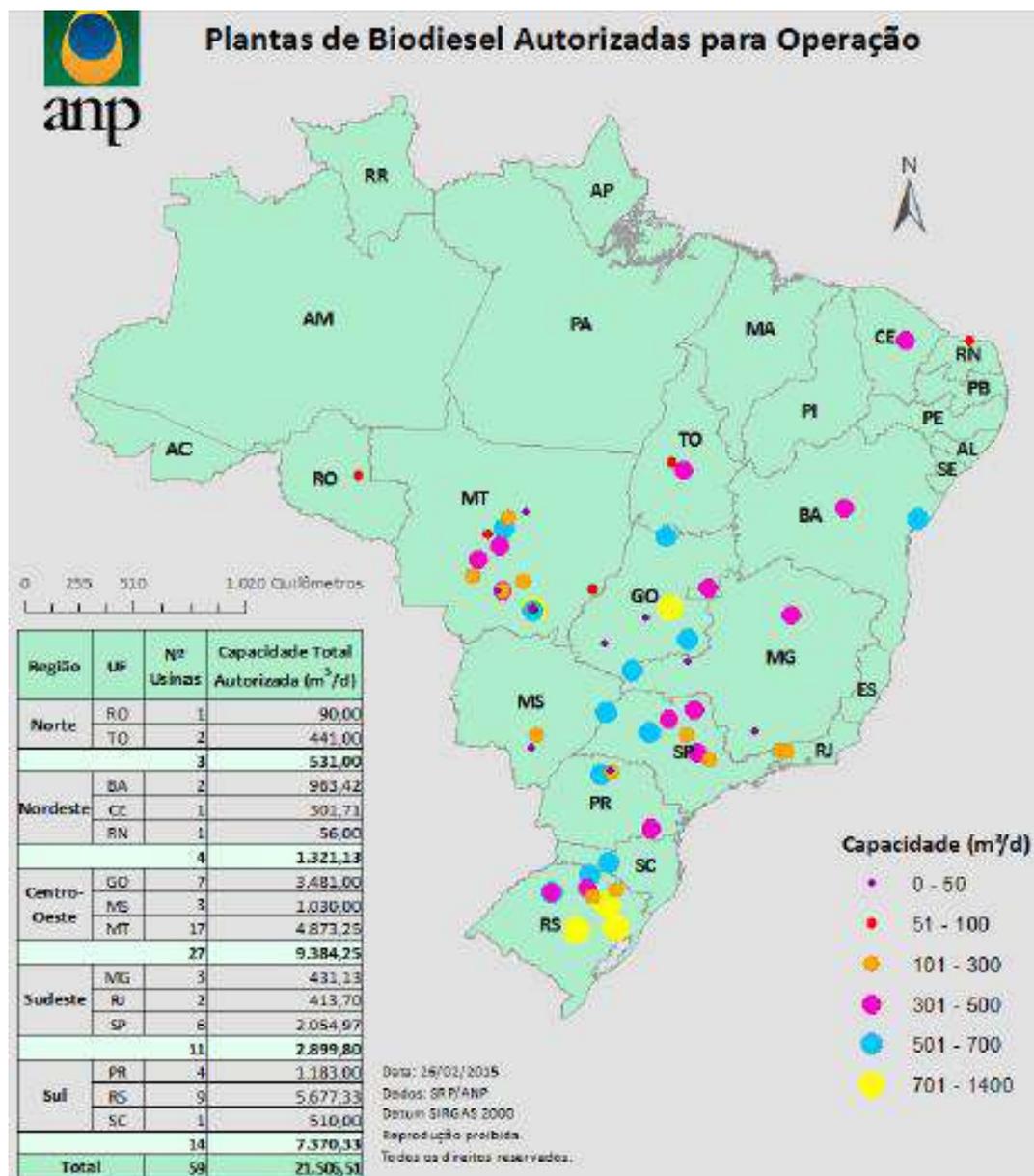


Figura 3: Distribuição das plantas produtos de biodiesel no Brasil (ANP, 2015).

Outros fatores determinantes são a quantidade desses produtores e a capacidade de utilização ou ociosidade das plantas produtoras. Fato que afeta diretamente a competitividade e corrobora na diminuição da margem no preço. Atualmente a capacidade instalada dessas usinas é maior que o dobro da produção, apesar da demanda interna, de forma geral, ser coerente com a produção.

O gráfico 8 consegue ilustrar facilmente tal comportamento e a tabela 3 reafirma a interpretação quantitativa desses dados e os subdivide em regiões. Fica claro que as principais regiões produtoras (Centro Oeste e Sul) apresentam pouca demanda e que a região com maior demanda (Sudeste) apresenta baixa produtividade. E esse deslocamento, tendo em vista a

precariedade da infraestrutura de transporte nacional, aumenta o custo e prejudica a sustentabilidade desse biocombustível. Sendo a região Sudeste a possuidora de maior percentual de ociosidade (23%), e em seguida a região Nordeste (21%).

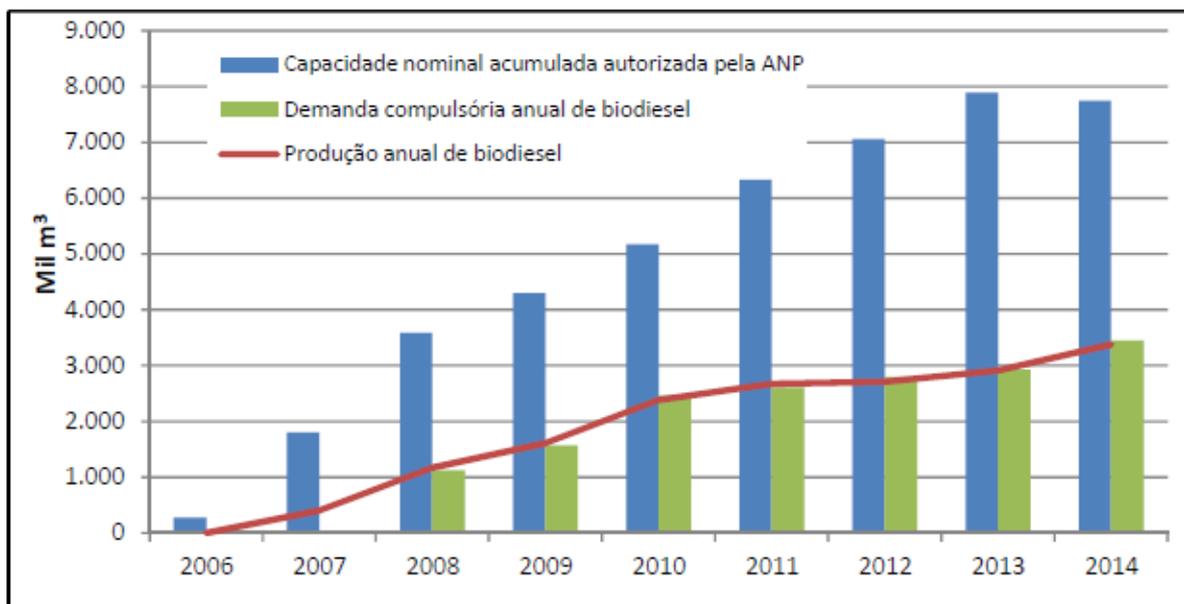


Gráfico 8: Evolução anual da produção, demanda compulsória e capacidade nominal autorizada pela ANP no país (ANP, 2015).

Região	Capacidade autorizada (m³)	Produção Mensal de Biodiesel ¹ (m³)	Demanda B100 ² (m³)
Centro-Oeste	281.528	133.930	42.019
Nordeste	39.634	8.695	60.619
Norte	15.930	8.014	33.811
Sudeste	86.994	20.524	129.942
Sul	221.110	127.396	64.669
TOTAL	645.195	298.559	331.060

Tabela 3: Dados regionais da capacidade instalada, produção mensal e demanda em fevereiro deste ano (ANP, 2015).

Devido à ociosidade nessas plantas, as usinas juntamente com trabalhadores, associações e sindicatos do setor pressionaram entidades do governo, que acabou tendo que ceder e promulgou a demanda compulsória de aumento da mistura de biodiesel no diesel, estabelecida segundo a Lei

nº 13.033 de 24 setembro de 2014, que alterou dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.

A Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel aprovou no dia vinte e oito de março de 2014 um documento condicionando-se favoravelmente com relação ao projeto de lei do Senado nº 219, de 2010. Três relevantes entidades do setor de biodiesel são elas Ubrabio, Aprobio e Abiove e uma do setor de carne, a Abiec (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne), apoiaram o referido texto.

O principal impacto desse novo marco regulatório no setor de biodiesel baseia-se no Art. 13, o qual afirma que “o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional passa a ser fixado em 20% (vinte por cento) em volume.”. Porém o primeiro ponto do primeiro paragrafo afirma que a aplicação dessa norma será gradativa. Primeiramente o “percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final é de 7% (sete por cento), a partir da vigência desta lei;”, que como foi dito acima ocorreu em setembro de 2014. O segundo ponto, ainda do primeiro paragrafo afirma que somente oito anos a partir da vigência desta lei implementar-se-á um percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final de 10% .

A implementação do B7 em tais aspectos já trouxe um impacto positivo para a economia nacional, que segundo a Abiove, evitou a entrada de 325 milhões de litros de combustível mineral no país ao longo dos primeiros cinco meses deste ano, baseado no volume de importação de diesel, que, neste mesmo período, atingiu 3,6 bilhões de litros período, segundo o MME. Além deste impacto, houve um aumento significativo de 26% na produção de biodiesel, foram cerca de 1,27 bilhão de litros produzidos (Revista Valor Econômico, 07/2015).

Esse pequeno aumento não anulou a ociosidade nas plantas produtoras, mas aqueceu o mercado e serviu como um impulso esperançoso frente aos desafios enfrentados. A região Centro Oeste manteve-se como a principal produtora, atingindo cerca de 43% do total, em seguida a região Sul com 38%. A soja aumentou seu *marketshare* nas matérias primas, ficando com cerca de 76% da demanda.

Mas mesmo com esse aumento inicial para B7 e progressivamente para B10, matematicamente percebe-se que tal ociosidade não será absorvida plenamente. Fato que tem corroborado para o crescente interesse da indústria nacional de biodiesel pela exportação. A tabela 4 apresenta dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

(MDIC), disponibilizados através da plataforma online AliceWeb2, que mostram que em 2013 o Brasil exportou 34.3 mil toneladas de biodiesel e que há um aumento progressivo nesse volume, pois de outubro para novembro de 2013 houve um aumento de 2.100 toneladas. E o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento prevê um aumento de 10% nos próximos anos (Embrapa, 2014).

EXPORTAÇÕES	01/2008 até 05/2013	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)	Quantidade
Europa	Óleo de soja em bruto	685.978.393	638.096.433	638.100
	Óleo de soja refinado	243.340.234.630	551.179.476.058	55.885.734.002
	Óleo de soja refinado (barril<=5l)	243.340.234.630	551.179.476.058	55.885.734.002
EUA (c/P. Rico)	Óleo de soja em bruto	59.433	38.750	39
	Óleo de soja refinado	125.019.696.359	133.270.617.846	133.270.617.846
	Óleo de soja refinado (barril<=5l)	244.480	190.610	193
China	Óleo de soja em bruto	3.884.316.572	3.754.082.872	3.754.087
	Óleo de soja refinado	183.322.757.512	996.536.243.976	79.534.103.789
	Óleo de soja refinado (barril<=5l)	183.322.757.512	996.536.243.976	79.534.103.789
Mercosul	Óleo de soja em bruto	13.082.495	12.271.767	16.473
	Óleo de soja refinado	0	0	0
	Óleo de soja refinado (barril<=5l)	75.442.854	57.226.997	79.665

Tabela 4: Dados da exportação brasileira provenientes da plataforma AliceWeb (acesso em 20/08/2013).

O interesse de aumentar consideravelmente o volume das exportações, como uma alternativa de crescimento e/ou sobrevivência para as indústrias produtoras de biodiesel no Brasil, tem impulsionado as empresas na conquista de certificações, que visam garantir que o biodiesel atende a critérios de sustentabilidades exigidos pela Diretiva Europeia de Energia Renovável (RED), a qual foi fixada em 2009 e visa à redução de 50% das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) comercializada na União Europeia a partir de 2017, tendo em vista que o mercado europeu é a principal demanda..

A revista bimensal BiodieselBr (Ano 7. Nº39. Fev/Mar2014, página 21) divulgou que tanto a BSBios de Marinalva (PR), como a de Passo Fundo (RS), conseguiram a certificação Internacional Sustainability and Carbon Certification (ISCC) e a Biomass Biofuels Sustainability Voluntary Scheme (2BSVs), certificando o biocombustível dentre os exigentes critérios europeus.

O segundo paragrafo, do mesmo artigo, reafirma a ampliação gradual para o cumprimento do regulamento, porém impõe os seguintes critérios:

- I. Disponibilidade de oferta de matéria-prima e a capacidade industrial para produção do biodiesel
- II. Participação da agricultura familiar na oferta de matérias-primas
- III. Redução das desigualdades regionais
- IV. Verificação no desempenho dos motores com a utilização do combustível
- V. Políticas industriais e de inovação tecnológica.

Tais critérios corroboram principalmente na redução das desigualdades regionais e visão maior inclusão da agricultura familiar. Aspectos críticos no setor brasileiro, que como mostra a figura 3, possuem sua produção concentrada nas regiões centro-oeste e centro sul do país. O biodiesel, como foi dito acima, pode ser proveniente de uma ampla gama de matérias primas, e parte dessas encontra-se nas regiões centro oeste, norte e nordeste do país, mas por falta de investimentos e predominância do mercado e tecnologia da soja, tais regiões são pouco exploradas. Portanto o biodiesel, obviamente respeitando-se as fronteiras de biodiversidade e preservação, poderia ser o promotor de mudança e desenvolvimento para regiões pouco exploradas do Brasil, aumentando a produtividade das plantas e a fatia no mercado internacional.

Já o terceiro paragrafo (Projeto de Lei No.219/2010) é inovador para o setor de biodiesel brasileiro, pois autorizando “a adição de 20% (vinte por cento) de biodiesel ao óleo diesel utilizado no transporte coletivo urbano, intermunicipal e interestadual”, deixa clara a liberdade das empresas de transporte coletivo no território nacional iniciar a utilização da mistura B20 desde o momento em que o novo marco foi aprovado. Isso é um incentivo tanto para as empresas que culturalmente se preocupam com a gestão de sustentabilidade, quanto para as empresas que visam exclusivamente aumentar sua margem, pois como foi visto acima não há mais uma discrepância abrupta entre os preços do diesel e do biodiesel, inclusive que pode ser percebido é que o preço médio do biodiesel vem tendo um declive, enquanto o do diesel, por diversos fatores, vem sofrendo um aumento.

E de forma análoga o quarto paragrafo do Projeto de Lei No.219/2010 afirma ser “facultado às distribuidoras de combustíveis, autorizadas a exercer a atividade pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), comercializar o óleo diesel com acréscimo estabelecido em 5% (cinco por cento) além do percentual mínimo obrigatório de biodiesel definido no §1º do caput deste artigo, denominado B+5”. O que expande o raciocínio do paragrafo anterior para todos os comerciantes e consumidores, mas em proporções menores, porém em uma escala muito maior, pois não restringe somente as empresas de transporte, mas atinge todos os veículos que circulam com diesel no Brasil, incluindo carros, caminhos, trens e outros.

2.3.2 Mercado externo

Atualmente o mercado de biocombustíveis é estruturado. Países desenvolvidos, tais como EUA e grande parte de integrantes da EU, têm promovido este setor a fim amenizar a problemática dos gases de efeito estufa (GEE), as emissões provenientes do setor de transportes, além de reduzir a dependência de países produtores de petróleo. Outro ponto de grande importância em debates e investimentos governamentais é a redução nas emissões de CO₂. Esse passou a ser um critériomajoritário na avaliação dos biocombustíveis (Suurs e Hekkert, 2006).

A Alemanha, a China e os EUA destacam-se por serem os principais países investidores nesse setor, destinando cerca de US\$ 50 bilhões, US\$ 41 bilhões e US\$ 25 bilhões, respectivamente (Sampaio, C., 2013). Especialista da petroleira americana BP em um relatório, com uma visão geral do setor energético mundial e suas projeções para 2035 (gráfico 1), apresentaram o mercado de energias renováveis como um futuro promissor dentro da matriz energética mundial (BP, 2015).

No caso do biodiesel seu mercado tem ganhado amplitude e crescentes investimentos, pois o mesmo tem sido incorporado como uma mistura (5-30%) nos galões de diesel e em motores adaptados pode ser utilizado até mesmo de forma pura (European Commission –EC, 2004). Estudos da Comissão Europeia (EC2003) estimam que os custos para a redução de uma tonelada de CO₂ equivalente será em torno de 200-250€ no caso do biodiesel e 400-500€ para bioetanol(Kampman et ai., 2003).

A evolução de processos produtivos resultou em um forte posicionamento internacional, gerando investimentos em P&D e políticas de inovações nesta área e até mesmo de uma rede social de apoio a produção (Suurs and Hekkert, 2006). O gráfico 9 ilustra a perspectiva mundial do mercado de biodiesel, apesar de ser do ano de 2009 e quantitativamente tais valores terem aumentado, seu efeito visual deixa clara a diferença entre as diversas regiões. Além disso, países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, Alemanha, França e Espanha continuam sendo os maiores produtores mundiais.

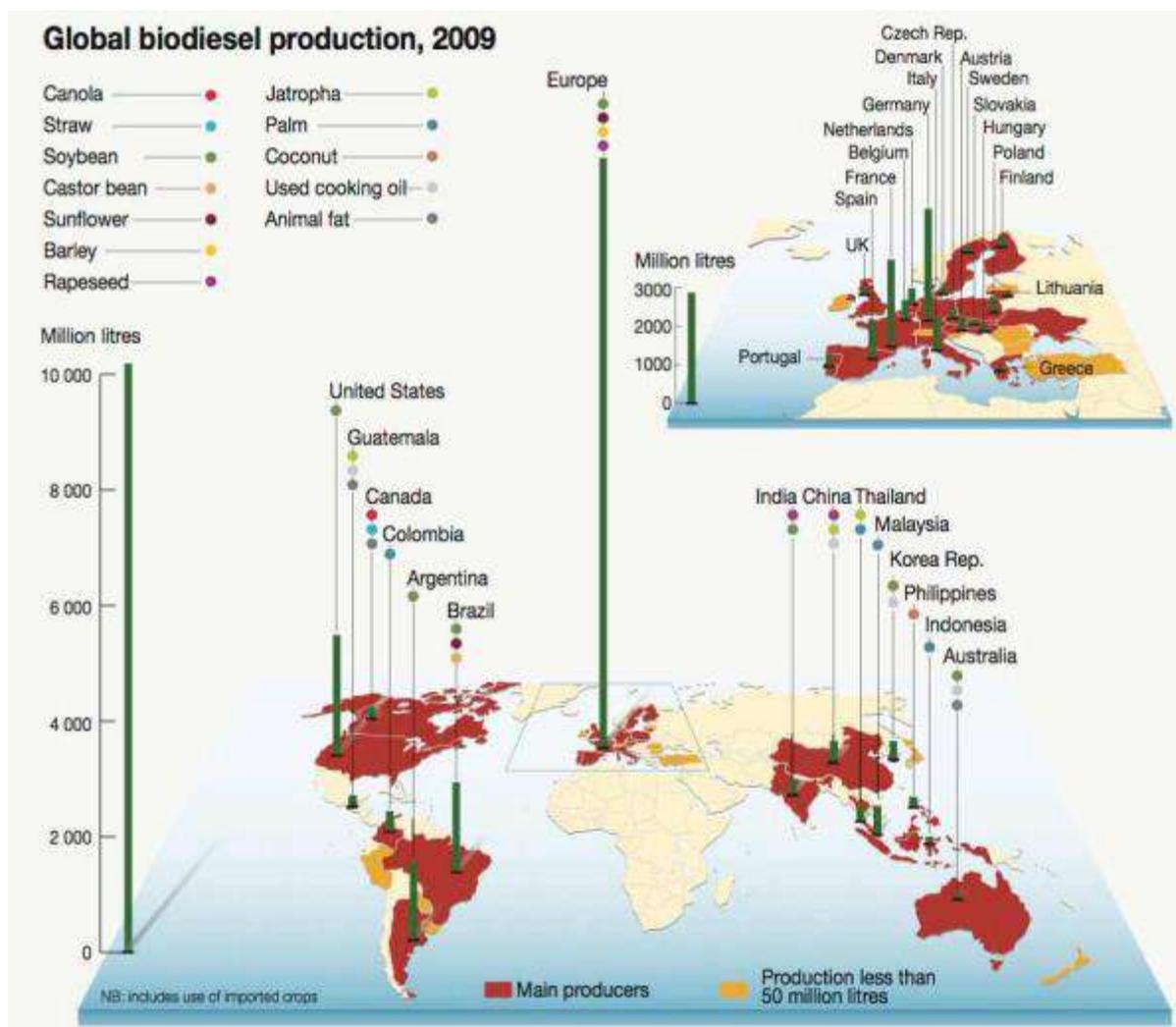


Gráfico 9: Panorama mundial do mercado de biodiesel (UNEP, GRID, 2011).

Diferentemente dos produtos de consumo alimentício, que são movidos pelo mercado global. A produção e comercialização de biodiesel não é de livre mercado, mas é fortemente influenciada por pressões políticas e incentivos governamentais, tais como subsídios e isenção de impostos ou decretos, como o novo marco regulatório. Esses acabam por repassar os altos custos diretamente ao consumidor final, facilitando, assim, as indústrias.

A União Europeia (UE), grupo de grande peso político-econômico, é participativo internacionalmente e tem levantado severos questionamentos sobre a viabilidade dos biocombustíveis. A parcela de contribuição para a efetiva redução dos gases de efeito estufa, a competição com terras de produção alimentícia e as questões sobre o desenvolvimento rural e a produção sustentável são só alguns dos tantos questionamentos.

A UE é o maior bloco econômico comprador internacional de biodiesel (Furlan, 2012). Porém tal panorama apresentado é superficial quanto se trata de estatísticas do biodiesel, pois

além da comercialização do desse, há também o comércio de grãos oleaginosos e de óleos vegetais brutos, os quais são à base do processamento industrial de biodiesel, principalmente na União Europeia. Tal bloco destaca-se dentre os principais importadores, pois sua matriz energética, principalmente para transportes é estruturada com grande participação do diesel, que tem por meta alcançar maior percentual de mistura com os biocombustíveis até 2020 (Diretiva 2003/30/EC). Isso acontece, pois a UE possui um déficit de produção local de oleaginosas e outros para atender a demanda energética, alimentícia e industrial, cabe lembrar, que as importações de oleaginosas são contabilizadas pela proporcionalidade de seu fator óleo equivalente, sendo cada 1.000 Kg de importação de soja equivalente a 180 Kg de óleo vegetal (Amaral & Kloss, 2012).

Tais resultados são favoráveis ao mercado brasileiro, que tem grande parte de suas exportações para o mercado europeu. Atualmente no Brasil, em Portugal e outros países, a soja é a principal matéria-prima na produção do biodiesel. A empresa portuguesa Iberol, “tem investido na fabricação do biodiesel, importando soja do Brasil”. Assim, 20% da produção de soja passou a ser utilizada na produção de biodiesel (dados da base de consulta AliceWeb). Porém, apesar do cenário positivo para o mercado de biodiesel brasileiro e de todos estes programas de melhoramento, o valor socioambiental desse produto tem sido questionado, principalmente por grupos ambientalistas e cientistas formadores de opinião na Europa, iniciando a análise em toda a cadeia produtiva. Com a Diretiva Europeia 2009/28/EC, o Brasil, têm enfrentado certas dificuldades para se estabelecer perante o mercado europeu, que através dessa diretiva cria barreiras à importação de matérias-primas ou de recursos energéticos provenientes dessa estrutura já elaborada há décadas.

Baseada nas publicações Verde Energia para o Futuro: fontes renováveis de energia [COM (96) 576 final] e Livro branco sobre as Energias Renováveis [COM (97) 599 final], o Parlamento e o Conselho Europeu (EC) endossaram o “Climate action and renewable energy package” (“Pacote relativo à energia renovável e ação para o clima”) em dezembro de 2008. O qual foi finalmente aprovado em 9 de abril de 2009, como sendo a Renewable Energy Directive (RED)2009/28/CE e a Fuel Quality Directive (2009/30/EC) , Diretivas para os biocombustíveis, a fim de “promover o uso de biocombustíveis bem como outros combustíveis renováveis no sector de transportes”. A nova Diretiva 2009/28/CE reafirmou compromissos para além de 2010, objetivando 20% de energia a partir de fontes renováveis na matriz de consumo até 2020 (Bart, 2013).

Essa nova diretiva impõe a verificação de normas técnicas, como, por exemplo, se a produção não está ocorrendo em terrenos de elevada biodiversidade ou ainda se as matérias-

primas não comprometem a produção de alimentos, elevando as exigências quanto à sustentabilidade ambiental dos biocombustíveis.

Por tanto, objetivando atender a política europeia de redução nas emissões de GEE, tendo os biocombustíveis como foco estratégico, a análise das duas Diretivas RED (2009/ 28/EC) e FQD (2009/30/EC) torna-se fundamental. A totalidade da Diretiva nº. 2009/28/CE, esta explicitada no Anexo B.

Dentre todos os pontos apresentados nessas Diretivas, os mais relevantes são:

- I. Redução das emissões de GEE: “A redução das emissões de GEE resultante da utilização de biocombustíveis deve ser de, pelo menos, 35%, passando a um mínimo de 50% (a partir de 01/01/2017). A partir de 01/01/2018, a redução deve ser de 60% para os biocombustíveis provenientes de usinas que iniciem suas atividades em 01/01/2017 (ou após essa data)” (EC, 2009).

Tal ponto questiona a arbitrariedade dos percentuais atualmente utilizados. E estabelece o cálculo das emissões evitadas de GEE, indicando valores de default para os diferentes tipos de biocombustíveis, considerando o processo produtivo e a matéria prima. Tal medida se aplica a todas as formas produtivas e a todos os biocombustíveis, independentemente da escolha da matéria prima.

- II. Preservação da biodiversidade dos terrenos de plantio de matéria prima: Os biocombustíveis não devem ser produzidos a partir de matérias-primas provenientes de terrenos ricos em biodiversidade, isto é, terrenos que em Janeiro de 2008 (ou após essa data) tivessem um dos seguintes estatutos, independentemente de o terem ou não atualmente: Floresta primária e outros terrenos arborizados; Zonas designadas, por lei ou pela autoridade competente para fins de proteção da natureza, ou para a proteção de espécies ou ecossistemas raros, ameaçados ou em risco de extinção, reconhecidas por acordos internacionais ou incluídas em listas elaboradas por organizações intergovernamentais ou pela União Internacional para a Conservação da Natureza; Terrenos de pastagem ricos em biodiversidade, isto é: terrenos de pastagem naturais, ou seja, que continuariam a ser terrenos de pastagem caso não tivesse havido intervenção humana, e que mantêm a composição de espécies e as características e processos ecológicos naturais, ou terrenos de pastagem não naturais, ou seja, terrenos de pastagem que deixariam de ser terrenos de pastagem caso não tivesse havido intervenção humana, com grande variedade de espécies e não degradados, a menos que se comprove

que a colheita de matérias-primas é necessária para preservação do seu estatuto de terrenos de pastagem. A Comissão estabelece os critérios e os limites geográficos para determinar os terrenos de pastagem que devam ser abrangidos pela alínea (c). (...) (EC, 2009).

Tal item corrobora com a política nacional de alocação de Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente. Incentivando o produtor rural brasileiro, que na atualidade custeia individualmente essa manutenção. O Brasil também possui o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação das Unidades de Conservação e das Terras Indígenas), que teria equivalência com a regulamentação que define normas sobre pastagens com alta perda de biodiversidade nativa e plantadas, pois a definição dessas áreas já é realizada pelo governo brasileiro através do SNUC.

- III. Baixo teor de carbono nos terrenos de plantio de matéria prima: Os biocombustíveis não devem ser produzidos a partir de matérias-primas provenientes de terrenos com elevado teor de carbono, isto é, terrenos que em janeiro de 2008 tinham um dos seguintes estatutos mas já não o têm: a) Zonas úmidas; b) Zonas continuamente arborizadas, isto é, terrenos com uma extensão superior a 1 hectare com árvores de mais de 5 metros de altura e uma cobertura florestal de mais de 30%, ou árvores que possam alcançar esses limiares in situ; c) Terrenos com uma extensão superior a 1 hectare, com árvores de mais de 5 metros e uma cobertura florestal entre 10% e 30%, ou árvores que possam alcançar esses limiares in situ (...)

No caso brasileiro, poder-se-ia pensar em implementar o sistema nacional de verificação da conversão do uso da terra, através de geoprocessamento e sensoriamento remoto, sobre o qual o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) atuaria juntamente com o SNCR (Sistema Nacional de Cadastro Rural), do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), os quais averiguariam precisamente o cumprimento das normas estipuladas nesse critério e em outros. Porém, a legalidade dessas exigências seria duvidosa. Portanto, a exigência pode ser interpretada como aplicação extraterritorial de uma norma comunitária (Amaral & Kloss, 2012).

- IV. Direitos de uso do solo: Os biocombustíveis não podem ser produzidos a partir de matérias-primas provenientes de terrenos que, em Janeiro de 2008, tivessem o estatuto de zona úmida (turfa), a menos que se comprove que o cultivo e a colheita dessas matérias-primas não implica a drenagem de solo anteriormente não drenado.

- V. Trabalhistas e Sindicais: a CE deve averiguar se a aplicabilidade das condições produtivas atende ao Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança e a Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Fauna e da Flora Selvagens Ameaçadas de Extinção, além disso, deve transpor ao Parlamento o cumprimento das convenções da Organização Internacional do Trabalho (OIT): Convenção sobre o Trabalho Forçado (no 29); Convenção sobre a Liberdade Sindical e a Proteção do Direito Sindical (no 87); Convenção sobre a Aplicação dos Princípios do Direito de Organização e Negociação Coletiva (no 98); Convenção sobre a Igualdade de Remuneração entre a Mão-de-obra Masculina e a Mão-de-obra Feminina em Trabalho de Valor Igual (no 100); Convenção sobre a Abolição do Trabalho Forçado (no 105); Convenção sobre a Discriminação no Emprego e na Profissão (no 111); Convenção sobre a Idade Mínima de Admissão ao Emprego (no 138); Convenção sobre a Interdição das Piores Formas de Trabalho das Crianças e a Ação Imediata com vista à Sua Eliminação (no 182).

Oito estruturas “voluntárias” reconhecidas pela EU estão disponíveis no mercado. Além dessas, a RED estabeleceria acordos, entre autoridades governamentais, a fim de promover equivalência entre certas legalizações, para que houvesse o real cumprimento de tais requisitos de sustentabilidade. Segundo Emerson Coraiola Kloss (2012), que chefia a Divisão de Recursos Energéticos Novos e Renováveis do Ministério das Relações Exteriores (MRE), “Até o momento, no entanto, a UE não se mostrou inclinada a aceitar essa via, a despeito de pedidos recebidos nesse sentido, como dos EUA. Na prática, portanto, os agentes privados ficam restritos aos tais esquemas de certificação”.

O Global Bioenergy Partnership (GBEP), tem algumas conclusões sobre tal documento, que são apoiadas por diversos relatórios, tais como N 73 do WG 4 do ISO Project Committee 248, que afirmam “ainda não é possível incluir indicadores que quantifiquem as mudanças no uso indireto da terra (ILUC). São necessários mais trabalhos científicos para desenvolver um quadro transparente e que melhorem a nossa compreensão e capacidade de medir os efeitos indiretos da bioenergia sobre a ILUC e os impactos indiretos sobre os preços das commodities agrícolas. Bem como identificar e discutir as opções de respostas políticas.”

A Comissão Europeia demonstrou que ainda não possui um posicionamento conclusivo em relação ao tema, o que gera incertezas nas dinâmicas de avaliações para o mercado, pois através de um comunicado disponibilizado ao público, a mesma sugere algumas opções como:

- i. Não realizar nenhuma ação e aguardar novos avanços científicos sobre o tema.
- ii. Aumentar a exigência de redução mínimas emissões de GEE.
- iii. Introduzir critérios adicionais de sustentabilidade para algumas categorias de biocombustíveis.
- iv. Atribuir uma quantidade de emissões de GEE para biocombustíveis com base em um impacto indireto sobre o uso estimado.

Ainda existem muitos pontos a serem aperfeiçoados dentro dessa perspectiva europeia, até mesmo para facilitar a difusão do desenvolvimento sustentável em muitos países produtores de biocombustíveis e, também, para dar maior liberdade de comercialização para os mesmos a fim de que tais expectativas em relação às emissões sejam alcançadas. Além disso, a estrutura produtiva e logística dos biocombustíveis ainda tem que avançar técnica e economicamente para que os mesmos tenham maior espaço e visibilidade no mercado mundial. O fato é que, o mercado europeu tem se utilizado de tais diretivas, que por sua vez afetam o mercado brasileiro de biocombustíveis e a exportação de suas matérias primas têm sofrido consequências. Ainda existe muito mais a ser retratado sobre tal perspectiva.

2.4 Sustentabilidade

Alguns movimentos e iniciativas têm ocorrido ao longo de todo o mundo abordando os três pilares da sustentabilidade, são eles, o ambiental, o social e o econômico (POPE et al., 2004). Questiona-se, então, a sustentabilidade de produtos que, apesar de serem provenientes de fontes renováveis, possuem em seus processos produtivos certas ações que prejudicam o meio ambiente, ou ainda que geram competição com a produção alimentícia ou que infringem nos direitos humanos (TANGERMANN, 2008; PETERSEN, 2008; VALOR, 2008).

O relatório Vision 2050, que o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) publicou, a Rio +20 (Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável), evento que reafirmou a Eco – 92, e outras iniciativas marcam esse momento histórico, que prioriza o real desenvolvimento sustentável, avalia progressos alcançados, lacunas na implementação e busca enfrentar os novos e emergentes desafios (ONU, 2012).

Conceitualmente entende-se sustentabilidade sendo um “Desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades”. Tal descrição é proveniente da Comissão de Brundtland (A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on

Environment and Development – WCED, criada pela ONU), que em 1987, definiu o que é “desenvolvimento sustentável”). HOPWOOD, GARCEZ & VIANNA (2009), abordam o tema como uma relação de conhecimento entre o ser humano e a natureza. Já Sachs (2002) prefere ampliar o conceito de sustentabilidade para além de ambiental, através de oito dimensões, que ele diz serem necessárias, tais como a territorial, a social, a cultural, a ecológica, a ambiental, a econômica e a política em todos os níveis.

Mundialmente diversos autores abordam o tema “desenvolvimento sustentável”, de forma mais simplificada e fácil, fundamentados em três pontos principais, os "triple bottomline"(TBL), os ambientais, os sociais e os econômicos. Em relação a esses, há uma pluralidade de opiniões. Por exemplo, enquanto Lehtonen (2009), afirma que a dimensão social tem sido negligenciada, já Buchholz (2009) reafirma esta como sendo controversia.

Trazendo tais questionamentos acadêmicos para a realidade empresarial, em 1998, o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável – CEMDS, conceitualizou a responsabilidade social empresarial (RSE) como “o comprometimento permanente dos empresários em adotar um comportamento ético e contribuir para o desenvolvimento econômico, simultaneamente melhorando a qualidade de vida de seus empregados e suas famílias, da comunidade local e da sociedade como um todo” (FGV, 2008a).

E atendendo a legislações cada vez mais rigorosas, companhias têm se esforçado em se firmar perante as pressões de organizações socioambientais, e também perante a competitividade mercadológica, tentando sobreviver em um mundo que em pouco tempo quer produzir mais e mais (SAID, 2008). A fim de proporcionar melhoramentos em gestão estratégica e levantar a incorporação de novas práticas de responsabilidade ambiental, social e econômica, existem iniciativas que disponibilizam indicadores globais. Os principais institutos são o Global Reporting Initiative – GRI e o Instituto Ethos, onde todos os dados e relatórios elaborados são confidenciais (INSTITUTO ETHOS, 2012).

2.4.1 Fundamentos, evolução e critérios

Tendo em vista os outros dois pilares do desenvolvimento sustentável, o ambiental e o econômico, surgiram os biocombustíveis, através do interesse em fontes energéticas que fossem provenientes de matérias primas renováveis, que apesar de não conseguirem mitigar as emissões dos combustíveis fósseis, permitem a redução de novas emissões. No cenário mundial de combustíveis, percebe-se que, pela relevância das reservas das fontes fósseis

como, óleo, gás, carvão mineral e outros esses ainda serão os principais provedores de energia. Porém, devido às alterações climáticas e abusivas emissões de poluentes, os biocombustíveis têm sido comumente incorporados nas matrizes energéticas. É fato que a queima de combustíveis provenientes de fontes renováveis nos motores veiculares provocam emissões, que através do balanço de carbono, são compensadas na fase de cultura da vegetação, que é utilizada como matéria prima, ocasionando a redução líquida nas emissões de poluentes promovidas pelos mesmos (Amaral e Kloss, 2012).

Porem, algo em torno de 1% (14milhões de hectares) da área mundial disponível está sendo utilizada para plantios em prol dos biocombustíveis, gerando um rendimento de 1% de “bio” no cenário europeu de combustíveis (European Commission, 2004). Se uma prospecção fosse realizada, a fim de se alcançar 100% de “bio” nesse cenário, haveria um grave impacto nas áreas destinadas à moradia, na produção alimentícia, além da perda inerente de água para irrigação e também a perda de biodiversidade do local de plantio. Por isso, deve haver um equilíbrio entre a utilização de combustíveis provenientes de diferentes fontes energéticas (renováveis e não renováveis), tanto devido às questões ambientais, quanto as estratégicas e econômicas.

Outro ponto de questionamento que foi evidenciado na utilização dos biocombustíveis, foi à mudança no uso das terras e a inversão nas emissões de gases de efeito estufa. Em 2008, na revista Science, houve duas publicações que fundamentavam tais questionamentos. Timothy Searchinger em “Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land Use Change”, sustenta a ideia que os produtores agrícolas sofrem pressões tendenciosas aos biocombustíveis, gerando alterações de mercado e incorporações de novas terras. Defendendo que as emissões provenientes da aragem e do desmatamento deveriam ser contabilizadas no balanço de carbono, afirmando que assim, haveria elevação no impacto de 93% ,no caso do etanol tendo o milho como fonte primária, e 50% para o etanol celulósico. Também pesquisadores da The Nature Conservancy e da Universidade de Minnesota, publicaram em “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt” (2008), a ideia que os biocombustíveis poderiam agravar a atual situação climática, alegando que haveria um “débito de carbono”, devido à perda de vegetação e de ecossistemas planetários.

Entretanto tais modelos foram facilmente derrubados, por não produzirem resultados realmente práticos, pois o mesmo não utiliza-se de grande número de variáveis de processo, o que gera comprovações dispare e tendenciosas, além de não haver considerações sobre os ganhos do potencial de aplicação sobre áreas de pastagem degradadas. Além das condições

ambientalmente favoráveis, os biocombustíveis devem ser economicamente viáveis, pois do contrário, não seriam verossímeis em um mercado tão competitivo e agressivo, como é atualmente o mercado energético.

Dessa forma BRENNAN & OWENDE (2010) definem certas condições para que o biocombustível seja técnica e economicamente viável. Devendo possuir competitividade ou menor custeio que os combustíveis derivados de matriz fóssil, também deve exigir baixo uso de terra adicional, além de promover sequestro de gases poluentes e desprender minimamente o uso de água.

Há uma problemática gama de questionamentos sobre a sustentabilidade dos biocombustíveis, e ao mesmo tempo há incentivos cada vez maiores, a fim de melhorias técnicas e aumento de produtividade desses. No caso dos combustíveis provenientes de fontes renováveis, critérios específicos foram elaborados para avaliar a sustentabilidade, através de indicadores, métricas e evidências, como sendo um mecanismo de certificação mercadológica. Múltiplas iniciativas governamentais e até mesmo ONGs têm se movimentado a fim de promover a estruturação dos biocombustíveis.

Dentre tantas perspectivas, vislumbrando uma compilação entre os princípios mais relevantes e a correspondência entre esses, pesquisadoras, da Universidade Federal do Rio de Janeiro,elaboraram a tabela 5 (apresentada abaixo) com critérios que fundamentam a proposição de um conjunto de procedimentos de tomada de decisão heurística.

Green Design Criteria (GDC)	The 12 Green Chemistry Principles [13]	The 12 Green Design Principles [12]	The 9 San Destin Principles [14]	The 3 Simplifying Principles [15]
1. Preventing rather than treating waste is the best strategy of environmental protection.	GCP#1: Prevention	GEP#2: Prevention Instead of Treatment	SDP#4: Strive to prevent waste	SP#2: Eliminate and Minimize Hazards and Pollution
2. Incorporation of all materials used in the process into the final product, designing to meet needs with maximum efficiency.	GCP#2: Atom Economy	GEP#4: Maximize Efficiency; GEP#8: Meet Need, Minimize Excess; GEP#10: Integrate Material and Energy Flows; GEP#5: Output-Pulled Versus Input-Pushed.	SDP#4: Strive to prevent waste	SP#1: Maximize Resource Efficiency
3. Use and generate substances that possess little or no toxicity to human health and the environment, while preserving efficacy of use.	GCP#3: Less Hazardous Chemical Syntheses; GCP#4: Designing Safer Chemicals; GCP#5: Safer Solvents and Auxiliaries	GEP#1: Inherent Rather Than Circumstantial; GEP#1: Inherent Rather Than Circumstantial	SDP#4: Ensure that all material and energy inputs and outputs are as inherently safe and benign as possible	SP#2: Eliminate and Minimize Hazards and Pollution;
4. Recognize environmental and economic impacts of energy requirements and minimize it.	GCP#6: Design for Energy Efficiency	GEP#4: Maximize Efficiency; GEP#8: Meet Need, Minimize Excess; GEP#10: Integrate Material and Energy Flows;		SP#1: Maximize Resource Efficiency
5. Use renewable rather than depleting materials.	GCP#7: Use of Renewable Feedstocks	GEP#12: Renewable Rather Than Depleting	SDP#5: Minimize depletion of natural resources; SDP#1: Embody a holistic, systems approach to risk reduction;	SP#3 Design Systems Holistically and Using Life Cycle Thinking
6. Avoid unnecessary derivatization and minimize complexity in products.	GCP#8: Reduce Derivatives	GEP#3: Design for Separation	SDP#4: Minimize complexity	SP#1: Maximize Resource Efficiency
7. Avoid by-products using catalytic reagents as selective as possible.	GCP#9: Catalysis	GEP#3: Design for Separation	SDP#3: Use life cycle thinking in all engineering activities	SP#1: Maximize Resource Efficiency
8. Product should not persist in the environment after function. Targeted durability, not immortality, should be a design goal.	GCP#10: Design for Degradation	GEP#7: Durability Rather Than Immortality	SDP#2: Conserve and improve natural ecosystems while protecting human health and well-being; SDP#4: Minimize complexity	SP#3 Design Systems Holistically and Using Life Cycle Thinking

9. Real-time, in-process monitoring and control to minimize pollution and release of hazardous substances.	GCP#11: Real-time analysis for Pollution Prevention			SP#2: Eliminate and Minimize Hazards and Pollution
10. Embody a holistic, systems approach to risk reduction.	GCP#12: Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention	GEP#1: Inherent Rather Than Circumstantial	SDP#1: Engineer processes and products holistically, use systems analysis, and integrate environmental impact assessment tools.	SP#2: Eliminate and Minimize Hazards and Pollution; SP#3 Design Systems Holistically and Using Life Cycle Thinking
11. Complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition		GEP#6: Conserve Complexity	SDP#4: Minimize complexity	SP#2: Eliminate and Minimize Hazards and Pollution
12. Material diversity in multicomponent products should be minimized to promote disassembly and value retention.		GEP#9: Minimize Material Diversity	SDP#3: Use life cycle thinking in all engineering activities	SP#3 Design Systems Holistically and Using Life Cycle Thinking
13. Design for performance in a commercial "afterlife." Design for disassembly		GEP#11: Design for Commercial "Afterlife"	SDP#2: Conserve and improve natural ecosystems while protecting human health and well-being; SDP#4: Minimize complexity	SP#3 Design Systems Holistically and Using Life Cycle Thinking
14. Holistically design with innovative solutions, while meeting geographic and cultural specificities			SDP#7: Develop and apply engineering solutions, while being cognizant of local geography, aspirations and cultures; SDP#8: Create engineering solutions beyond current or dominant technologies; improve, innovate and invent (technologies) to achieve sustainability; SP#9: Actively engage communities and stakeholders in development of engineering solutions	SP#3 Design Systems Holistically and Using Life Cycle Thinking

Tabela 5: Critérios e princípios da química verde (Araujo; Medeiros; Morgado; Yokoyama, 2014).

Tal trabalho, além de estruturar os requisitos que possam embasar a sustentabilidade dos biocombustíveis desde a sua produção, como princípios equivalentes, resultando em um conjunto de 14 Critérios de Projeto Verde (GDC), propõe métricas de sustentabilidade baseadas no impacto e custo de produto, gerando como resultado uma matriz de Multi-Critérios de Sustentabilidade (MCSM), que se aplica atomada de decisão em múltiplos objetivos, através de diferentes pesos para desempenho e conformidade dos biocombustíveis.

Dessa forma, para que um processo industrial seja considerado sustentável existem certos critérios e indicadores de sustentabilidade que devem ser seriamente analisados. Outra perspectiva a ser considerada são as área de gestão ambiental (ISO 14001), o compromisso com a responsabilidade social (NBR 16001) e as questões de segurança, meio ambiente e saúde (OHSAS 18001 e CCPS). Essas baseiam-se nos protocolos europeus e auxiliaram na devida interpretação de tais indicadores, a fim de promover a produção em compromisso com a sustentabilidade. Cabe a análise de riscos e perigos a fim de averiguar toda a área de Segurança de Processo. Esses mesmos indicadores podem ser avaliados através do Método da Análise Hierárquica, que por sua vez, indicará melhores ações a serem tomadas no processo.

2.5 Avaliação de Ciclo de Vida

Através de uma visão sistêmica de sustentabilidade, o que significa pensar de forma multidimensional, integrando diferentes partes de um todo, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), em inglês *Life Cycle Analysis* (LCA), é uma ferramenta metodológica quantitativa que gera informações, avalia impactos e compara desempenhos traçando perfis ambientais de produtos ou processos. Os fluxos de energia e matéria envolvidos são mensurados e relacionados a distintas categorias de impacto ambiental. Dessa forma, é possível identificar os impactos positivos e negativos causados ao meio ambiente em cada etapa do processo, descobrindo qual etapa é mais impactante e o porquê. Facilitando, assim, a avaliação e/ou tomada de decisão para melhorias no processo.

Sua multidisciplinaridade juntamente com seus multicritérios, abrangem uma vasta gama do conhecimento e compilam diferentes categorias de impactos ao mesmo tempo. Além disso, suas análises quantitativas podem se referir a estudos comparativos de distintos locais e, ainda, de impactos reais ou possíveis.

Tais estudos não são contemporâneos, os Estados Unidos desde 1970 estudava “Resource and Environmental Profile Analysis” (REPA). Industrialmente a empresa Coca Cola, em 1969, já demonstrava tal preocupação emitindo relatórios que quantificavam emissões e resíduos originados por diferentes embalagens e fazendo parcerias com o “Midwest Research Institute” (MRI), que por sua vez também realizou estudos, em 1972, para a “U.S. Environmental Protection Agency” (USEPA) sobre embalagens e insumos. Essa agência norte americana já examinava impactos ambientais de embalagens de reuso quando comparadas as não reutilizáveis. E após tal estudo, que englobou indústrias de distintos setores, tais como vidro, aço, alumínio, papel e plástico utilizando mais de quarenta tipos de materiais, definiu-se como padrão de qualidade garrafas de matérias reutilizáveis (Alejos, 2014).

O Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict) afirma que “tal ferramenta serve tanto aos pesquisadores, que buscam ampliar a base científica de conhecimento sobre sistemas produtivos e suas relações com o meio ambiente, quanto aos industriais que podem aumentar a eficiência de seus processos, reduzir custos e ainda promover o marketing verde de seus produtos”.

Outro ponto importante é que, também, o governo pode basear-se em resultados desses estudos, com a finalidade de promover políticas públicas sustentáveis, certificações ecológicas, ecologia industrial e outros (White, 1994 apud AYRES et al, 2002, p. 4). Os critérios que determinam a estrutura, as diretrizes e os requisitos de uma avaliação de ciclo de

vida são formulados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, mas padronizado internacionalmente pela *International Organization for Standardization*, que possui normas para tais estudos, sendo a ISO14040 pertencente de conceitos gerais do método e aplicabilidade do mesmo e a ISO 14044, possuidora de detalhes específicos (ABNT NBR ISO 14041:2004).

Existem, também outras normas ligadas a ACV, a série 14020, que abordam a rotulagem ambiental. A ISO 14021, que trata a auto-declaração ambiental, a 14024 sobre rótulos ambientais (exemplo deste é o rótulo ambiental ABNT) e a 14025, que relata declarações ambientais, conhecidas como EPD (Environmental Production Declaration). A série 14060 que aborda gestão de GEE (gases de efeito estufa). Como é o caso da 14064 e 14069, que abordam qualificação e reporte de emissões de GEE em níveis organizacionais.

A elaboração de estudos de ACV passa pelas seguintes etapas: definição de objetivo e escopo (escolha da unidade funcional e fronteira do sistema a ser avaliado), análise de inventários (levantamento de dados de processo), avaliação de impactos (escolha da metodologia e categorias de impacto) e a interpretação. Figura 4 ilustra objetivamente o ciclo de vida do biodiesel.

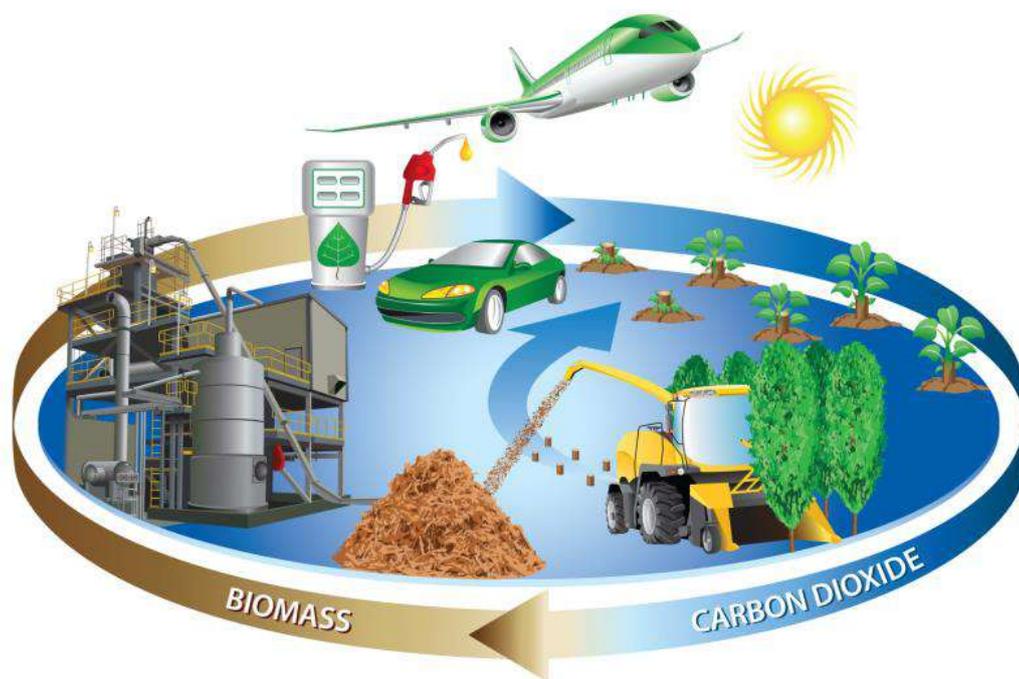


Figura 4: Ciclo de Vida simplificado do biodiesel (Relatório da Advanced Hardwood Biofuels Northwest, 07/2015).

O ciclo de vida abrange distintas etapas do processo produtivo. Ele se inicia no preparo e cultivo da matéria prima, passando pelo processo de transformação industrial até a utilização pelo consumidor final e seu descarte ou reuso, além de todos os deslocamentos necessários entre etapas. Nesse há contabilização de todas as entradas e saídas do processo, juntamente com seus potenciais impactos (Goedkoop, 2010).

Por isso, a avaliação de ciclo de vida juntamente com outros métodos vem avançando no espaço científico e auxiliando produtores, consumidores e governantes a atuarem de forma sustentável (EC, JRC & IES, 2010). Podendo ser aplicada em decisões estratégicas ou para determinar indicadores chaves de monitoramento (órgãos públicos regulamentadores ou setores empresariais), ajudando também como base para políticas de emissões de GEE.

2.5.1 Definição de objetivo e Escopo

Esta etapa consiste visa reconhecer o propósito do estudo e aplicações pretendidas, assim como a razão que o motiva, estipulando, também, a extensão do estudo. A figura 5 consegue ilustrar as relações entre cada uma das etapas.

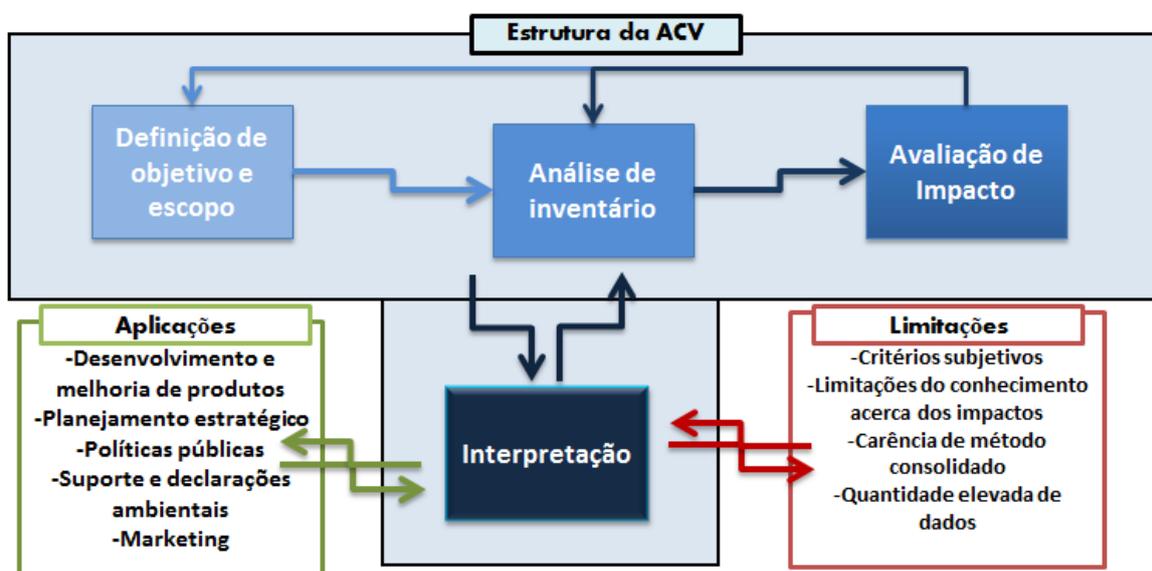


Figura 5: Metodologia da estrutura de ACV (baseada na ISO 14040, 1997).

O objetivo de um estudo de ACV deve definir a aplicação desejada, incluindo os motivos para a condução do estudo e o público alvo para quem os resultados pretendem ser comunicados. Alguns exemplos comuns são comparar produtos que cumpram a mesma função (usado em marketing e para fins de regulamentação), ou identificar hot-spots ambientais ao longo do ciclo de vida, ou, ainda, identificar possibilidades de melhorias em produtos existentes ou em desenvolvimento, mas também comunicação para consumidores.

Para que o objetivo seja especificado é importante definir com clareza o *sistema de produto* envolvido e detalhar bem suas etapas, pois tendo em vista que uma das limitações da ferramenta são os critérios subjetivos, a melhor solução que pode ser apresentada é que os relatórios sejam transparentes. Entende-se por produto, “qualquer bem ou serviço, que pode ser categorizado como: serviço (transporte, por exemplo); informações; ou materiais e equipamentos. Os serviços incluem elementos tangíveis e intangíveis” (ABNT, 2009a). Portanto, o sistema de produto é o conjunto de etapas elementares do processo produtivo do mesmo, o que inclui entradas e saídas que caracterizam as etapas do processo, tais como insumos, energia, transporte e outros.

Nesta etapa é extremamente necessária a definição da *unidade funcional*(UF). Essa é uma unidade base comparativa que possibilita uma relação pertinente entre diversos produtos que tem que cumprir a mesma função. Facilita a comparação entre diferentes processos ou serviços, pois assumido uma mesma base, é a referência que relaciona os dados do sistema de produto (Bonton, 2012). A quantidade necessária para cada produto cumprir aUF é denominada de *Fluxo de Referência*. Resumidamente, pode-se tratar como função o produto na fase de uso, a unidade funcional, como uma quantidade produzida que servirá como base comparativa e, por ultimo, mas não menos importante, o fluxo de referência, que é a quantidade de produto para que a UF seja atingida.

Para a formulação do escopo do estudo o objeto de análise deve ser identificado, a fim de estipular o que é significativo para a obtenção do mesmo, delimitando as *fronteiras do sistema*. Que por sua vez limita o sistema de produto, dessa forma, basicamente, se trata de critérios que determinam quais as etapas do processo produtivo que serão inclusas ou não na análise. Segundo estudos recentes, as características relevantes na elaboração desses limites são cúbicas. Essas três dimensões fazem alusão à extensão, que indica o início e término do estudo, a largura, a qual indica os níveis de análises a serem incluídos e a profundidade, que estabelece qual o nível de detalhamento da análise, dessa forma, atendendo aos objetivos estipulados (Alejos, 2013).

Ressalta-se que ao comparar diferentes estudos de ACV, variáveis como UF, fronteira do sistema, qualidade de dados e outras devem ser as mesmas, sendo comparadas antes da interpretação dos dados para que a equivalência seja válida (Pereira, 2008; Tourinho, 2014).

As definições no documento que contem a Norma NBR ISO 14041 são:

- Sistema de produto: Conjunto de unidades de processo, conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas. Assim, a função do sistema é a finalidade de uso do produto.
- Unidade funcional: Desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência num estudo de avaliação do ciclo de vida.
- Unidades de processo: Menor porção de um sistema de produto para a qual são coletados dados quando é realizada uma avaliação do ciclo de vida.
- Fronteiras do sistema: Interface entre um sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produto

O entendimento e visualização da fronteira são facilitados pela estratégia de um fluxograma detalhado do processo produtivo, o que inclui desde etapas prévias à industrial até etapas como o descarte ou reuso. Tais como cultivo e transporte de insumos, entradas e saídas de massa e energia no processo de transformação, produção e consumo de diferentes formas energia consumidas e geradas no processo, uso e manutenção do produto, disposição final de resíduos, reutilização e outros. Percebe-se, com isso, que limitar a análise é fundamental, pois do contrário a mesma pode se tornar inacabada, o que geraria uma perda de foco no objetivo principal.

Um ponto conflitante nesta etapa da ACV acontece no caso de produtos multifuncionais, como por exemplo a soja, que pode entrar como insumo em diversas cadeias produtivas (ração animal, alimento de consumo humano, biocombustíveis), ou ainda o gado, que é produtor de leite, carne e couro, ao mesmo tempo. Nesses casos, há duas estratégias. A primeira é evitar alocação, através da expansão da fronteira do sistema, subtraindo o inventário deste produto no processo com múltiplas saídas. No caso do biodiesel, especificamente, isso acontece pois a partir da manufatura do óleo vegetal é gerado o produto, que é o biodiesel e o subproduto, que é a glicerina. Nesse caso deve haver a separação entre os sistemas, um será o sistema do produto e outro (sistema expandido) irá conter o subproduto, estratégia ilustrada na figura 6. Outra estratégia que pode ser utilizada é a divisão dos impactos entre os coprodutos.

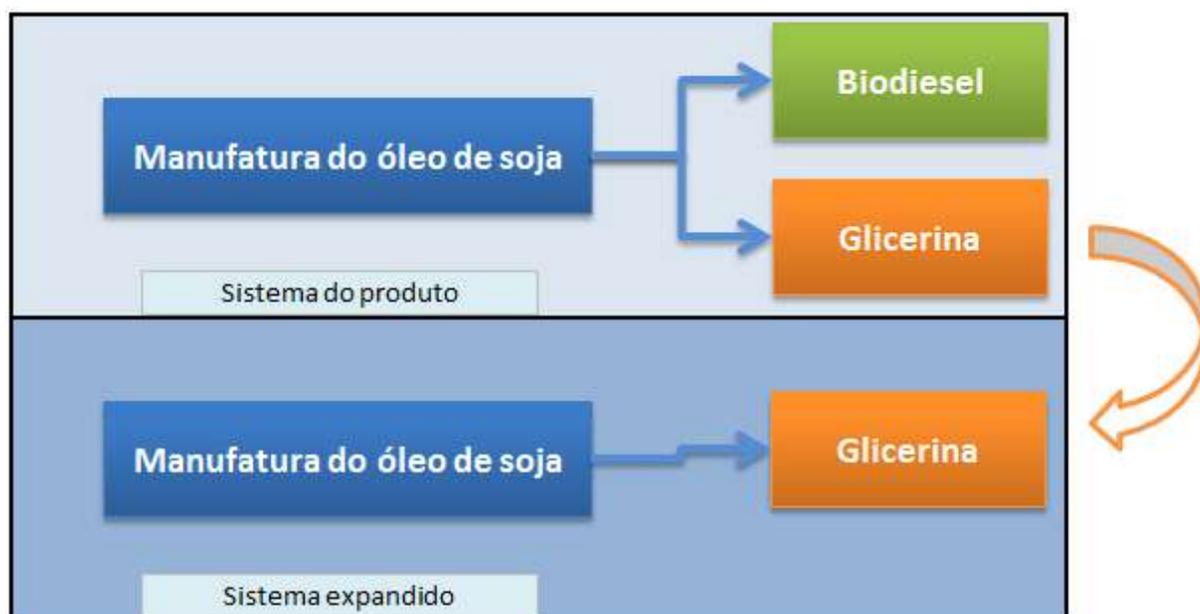


Figura 6: Estratégia para evitar alocação.

Existem critérios para inclusão, definidos pela ISO 14044, como o percentual mássico, que faz referência a materiais e energia, o percentual energético, que só exclui bens de capital e o percentual de relevância ambiental, que trata de materiais, energia e bens. A observação dos steak roves também pode ajudar a limitar o processo, pois levando-se e consideração à parte interessada (como por exemplo, ambientalista, produtores rurais, produtores industriais e outros), fica fácil excluir o que não tem relevância para a mesma.

A escolha da metodologia de avaliação de ciclo de vida é outro ponto importante, pois existem várias. Algumas incluem, por exemplo, impactos atmosféricos e consideram o impacto do uso da água, outros, somente os impactos atmosféricos. Ou seja, deve-se definir qual metodologia é interessante tendo em vista as variáveis citadas acima. Além disso, indicadores das categorias de impacto e modelos de caracterização devem ser incluídos na metodologia AICV (ABNT, 2009).

Existem diversos impactos ambientais e os fluxos de correntes no processo influenciam a tomada de decisão de quais categorias escolher. Essas categorias de impactos ambientais, como o próprio nome sugere, propõem através da metodologia a perspectiva dos efeitos das reais questões ambientais. Segundo Tourinho (2014), *“Estas se encontram inseridas no mecanismo ambiental que vincula os resultados da análise do inventário aos indicadores de categoria e aos pontos finais de categoria. Enquanto um indicador de categoria é uma representação quantificável de uma categoria de impacto, o ponto final de categoria é um*

atributo ou aspecto do ambiente natural, da saúde humana ou dos recursos que identifica uma questão ambiental merecedora de atenção”.

2.5.2 Análise de Inventário

Novamente tomando como base o documento do sistema normativo da ABNT os principais elementos para uma eficiente análise de inventário (ABNT NBR ISO 14041:2004) são:

- Sistema de produto: conjunto de unidades de processo, conectadas por material ou energia, cada uma realizando uma ou mais funções definidas. É, portanto, o detalhamento do modelo a ser estudado na ACV. A descrição de sistema de produto inclui os processos elementares, fluxos elementares, fluxos de produto através das fronteiras do sistema e fluxos de produtos intermediários dentro do sistema.
- Processo elementar: divisão do sistema de produtos, sendo interligados uns aos outros, mediante fluxos de processos intermediários e/ou resíduos de tratamento, a outros sistemas de produto por fluxos de produto e ao meio ambiente por fluxos elementares.
- Categoria de dados: os dados coletados, medidos e estimados são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar.

Porém, antes mesmo de analisar o inventário, ressalta-se o devido cuidado que se deve ter na obtenção de dados e/ou uso da base correta dos mesmos. Esses, além de satisfazer os requisitos pré-estabelecidos, devem possuir máxima confiabilidade, pois servem de base para toda a avaliação. Procurar dentre as nuances de dados de programas ou manufaturar os dados, pode ser a etapa mais difícil do estudo. Esses devem ser os que mais se assemelham com o produto ou serviço a ser avaliado e qualquer contrariedade nesse sentido deve ser imposta nas premissas. A transparência na compilação de tais dados torna-se fundamental para a validação dos resultados.

Nesta etapa é confeccionada a estrutura do estudo. A elaboração do sistema de produto, com todos os fluxos de referência, tendo em vista a unidade funcional e a fronteira do sistema. Para agrupar os dados em categorias ambientais, faz-se necessária a Análise de Dados (NBR ISO 14041). Para a realização dessa, o objetivo e escopo do estudo definem um plano inicial, processos elementares e categorias de dados associados (Alejos, 2014).

São três as subdivisões das categorias de dados. Primeiramente energia, e em seguida, matérias primas, matérias auxiliares e outras entradas, tais como emissões atmosféricas, ou no

solo ou, ainda na água. A construção desse inventário é dinâmica, e proporcional à medida que outras informações sobre o produto estudado vão sendo descobertas. Por isso o próprio sistema normativo indica a verificação constante da fronteira do sistema, que vai se adequando (sendo ampliada ou reduzida), incorporações ou retiradas de dados, ou seja, as mudanças do ICV. Um exemplo disso, são os dados irrisórios, que não afetam significativamente a obtenção do produto final, representando cerca de um por cento, tais podem ser negligenciados. Porém para o caso de substâncias tóxicas ao ser humano, por ter grande impacto, mesmo que seu percentual seja baixo, deve ser considerado (RODRIGUES, 2004).

2.5.3 Avaliação de impacto

A partir da estruturação do ICV, os potenciais impactos ambientais causados pelos mesmos devem ser avaliados. O que caracteriza os impactos ambientais são a magnitude e relevância desses fluxos de entrada e saída ao longo do processo. Porém como a natureza e as consequências de muitos deles são familiares, esses impactos passam a ser agrupados em categorias específicas e classificadas. A seleção do método e categoria de impacto devem ser coerentes com a meta e extensões das mesmas, estipuladas no primeiro momento do estudo. Essa etapa da ACV realiza a avaliação e compreensão da magnitude e significado dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto (Alejos, 2014).

Dentre tantas categorias de impacto na análise de ciclo de vida, abaixo são apresentadas algumas (as quais serão utilizadas neste trabalho) de forma mais detalhadas para elaboração da avaliação de impacto de ciclo de vida. As definições de tais categorias foram, todas, retiradas da tese de conclusão de mestrado do engenheiro Carlos Alejos (2014), pois foram estipuladas como as bases comparativas.

Primeiramente, os *Potenciais para o Aquecimento Global*, em inglês GWP (Global Warming Potential) desenvolvidos pelo IPCC (International Panel on Climate Change). Segundo estudos recentes, o GWP de uma substância “é a relação entre a contribuição para a absorção de calor da radiação resultante da descarga instantânea de 1 kg de gás de efeito estufa e uma quantidade igual de emissão de dióxido de carbono”.

A *Formação de Ozônio Fotoquímico* é outra categoria a ser utilizada. Segundo especialistas, “certas substâncias são capazes de reagir com o radical hidroxilo OH para formar radicais peróxidrilas, que na presença de NOX e radiação ultravioleta UV podem induzir a formação de ozônio molecular e outros compostos reativos na troposfera. As substâncias que

contribuem para este impacto são o monóxido de carbono (CO) e todos os compostos orgânicos voláteis (COV)”.

A *Acidificação* refere-se “a precipitação das emissões de compostos ácidos causam um grande impacto no solo, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais. As substâncias que mais contribuem para a acidificação são SO_x, NO_x, e NH₃. A acidificação é uma das categorias de impacto na qual a sensibilidade local (condições locais ambientais) joga um papel importante e a possibilidade de incluir diferenças regionais no modelo ACV tem sido um ponto chave nos últimos anos” (RODRIGUES, 2004).

Outra categoria de impacto relevante é a *Eutrofização* que, por sua vez, é o “enriquecimento da água ou do solo em nutrientes como N e P, que podem causar mudança na população de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica. O enriquecimento das águas superficiais em N e P causa o rápido crescimento das algas, o que pode levar a um déficit de oxigênio, com os consequentes efeitos na flora e fauna. As substâncias que contribuem a este impacto são: NH₃, NO_x, NO₃⁻ e PO₄⁻³ entre outras”.

E por último, mas não menos importante, considera-se a *Toxicidade Humana*, a qual “compreende o impacto na saúde humana das substâncias tóxicas presentes no ambiente”. Sendo o método de caracterização de toxicidade baseado no modelo USES-LCA (RODRIGUES, 2004).

Existem diversos mecanismos ambientais dentro de uma AICV, tais como o esgotamento do bem, o uso da terra, mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, eco toxicidade, toxicidade humana e outros. Esses mecanismos ambientais pertencem à categoria de impacto, que por sua vez subdivide-se em ponto médio e ponto final. O ponto médio engloba mecanismos, como a mudança climática, acidificação, eutrofização, destruição da camada de ozônio, eco toxicidade, uso do solo e outros. Já o ponto final refere-se grupos mais generalistas, como é o caso da qualidade do ecossistema, saúde humana, uso de recursos e outros.

A classificação (seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas) e caracterização (cálculos dos resultados dos indicadores de categoria) dos elementos em uma AICV são obrigatórias, de acordo com a ISO 14040 (Goedkoop, 2010). Já a normalização (escolha de padrão de comparação, europeu ou mundial, por exemplo) e ponderação (baseada em um painel de especialistas) desses são opcionais segundo o mesmo sistema normativo.

2.5.4 Método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida

Na AICV faz-se necessária a escolha de um método que ponderará as considerações significativas e calculará os impactos no estudo. Esse método pode ser desenvolvido de forma própria e manual, fato que apresenta como vantagem ser completamente compatível com todas as questões relevantes para tal estudo específico, pois dessa forma as considerações são estipuladas de forma única e com um encaixe perfeito no processo. Porém isso não é recomendado, pois além de prejudicar a repetição em trabalhos futuros, não possui confiabilidade e perde a capacidade comparativa, que é um dos objetivos deste tipo de avaliação.

Por isso muitos métodos já elaborados com confiabilidade existem como padrão, o que acaba por facilitar a avaliação do estudo e permite comparações entre distintos trabalhos. Os principais métodos europeus existentes são o CML 2000, o Ecological scarcity 2006, o EDIP 2003, o EDP 2007, o ReCiPe, o Eco-indicator 99, o EPS 2000 e o Impact 2002+. Além desses também existem os norte americanos, como é o caso do BEER e o TRACI. Porém todos apresentam aspectos únicos em “Cumulative Energy Demand”, “Cumulative Exergy Demand”, “Ecological footprint”, “Ecosystem Damage Potencial”, “GHG Protocol”, “IPCC 2007” e “Selected LCI results”.

O mais comumente utilizado (e o que será tomado de base neste trabalho) é o método de AICV ReCiPe 2008. Nesse a classificação e caracterização se dão através de cada substância ser classificada em uma determinada categoria de impacto, os valores de caracterização do ponto médio (*midpoint*) serem baseados em algo antes do dano ocorrer (por exemplo Kg de CO₂ eq.), valores de caracterização do ponto final (*endpoint*) serem atribuídos com base no dano causado por uma determinada substância, mas também pelas diversas categorias de impacto serem agrupadas em diferentes áreas de proteção, tais como saúde humana, ecossistema e recursos. Esse método “baseia-se no método de caracterização proposto no CML Handbook on LCA e nos pontos finais de categoria do método Eco-indicator 99, e representa o estado da arte relacionado à AICV na Holanda” (Tourinho, 2014). A figura 7 apresenta a visão geral da estrutura do método, contendo as dezoito categorias de impacto intermediárias e as três do endpoint.

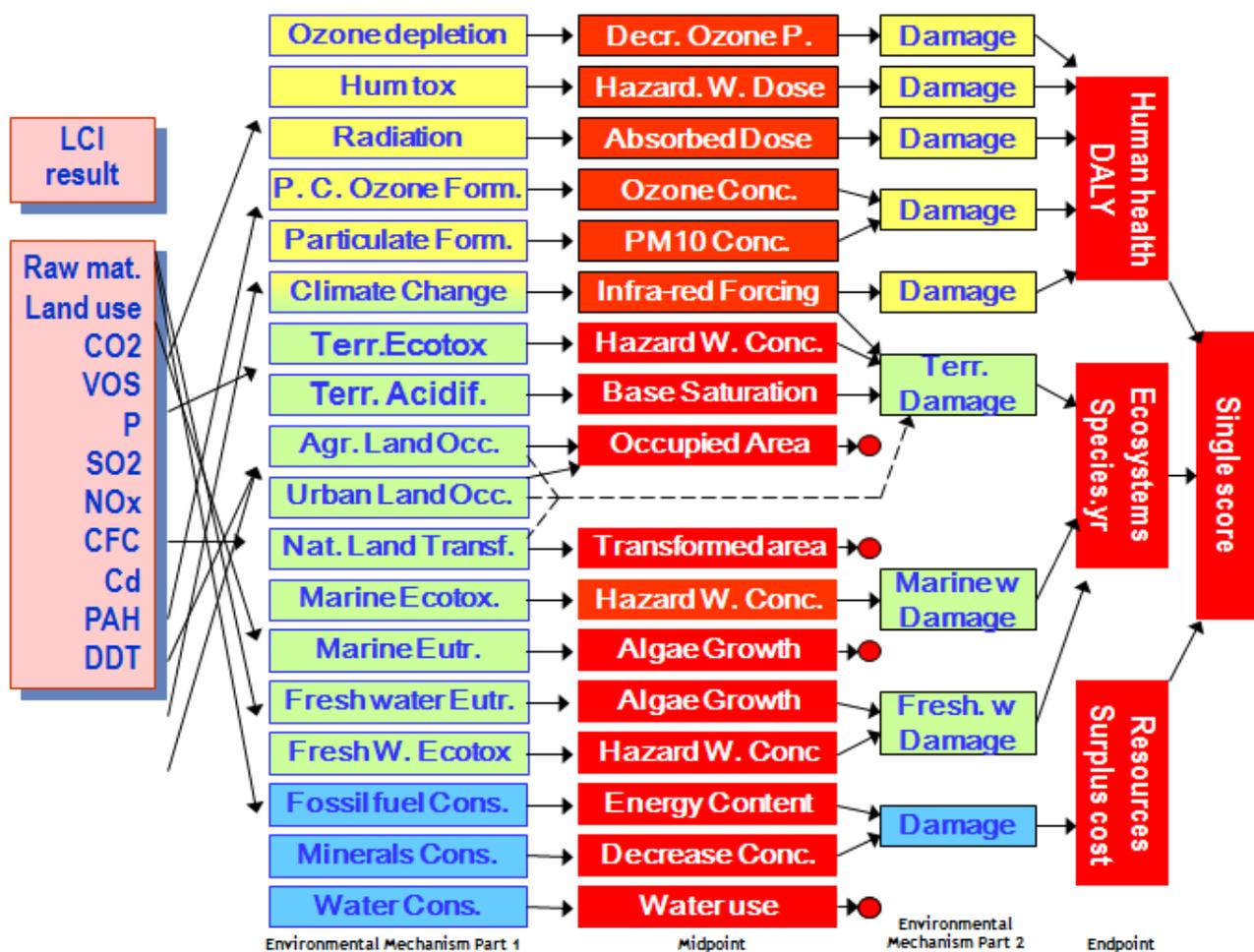


Figure 2: Relationship between LCI parameters (left), midpoint indicator (middle) and endpoint indicator (right) in ReCiPe 2008.

Figura 7: Estrutura geral do método ReCiPe, contendo ICV, categorias intermediárias, indicadores de categoria e pontos finais de categoria (site oficial do ReCiPe, 2015).

Dentro desta vasta gama de categorias, as que são subsequentes ao inventário possuem menor incerteza do que as dos pontos finais, que por sua vez apresentam grau de incerteza relevante. Porém, apesar disso, esse segundo grupo, por ser mais generalista torna-se de fácil interpretação (Navarro, 2006).

As categorias intermediárias se relacionam com os indicadores de categoria, que por sua vez fazem parte da elaboração do método. A tabela 6 apresenta tal relação.

Categoria intermediária		Indicador de categoria	
Nome	Abrev.	Nome	Unidade*
Mudanças Climáticas	MC	Forçamento radiativo infravermelho	W×ano/m ²
Redução da Camada de Ozônio	RCO	Concentração de ozônio estratosférico	ppt [‡] ×ano
Acidificação Terrestre	AT	Saturação de base	ano×m ²
Eutrofização na Água Doce	EAD	Concentração de fósforo	ano×kg/m ³
Eutrofização Marinha	EM	Concentração de nitrogênio	ano×kg/m ³
Toxicidade Humana	TH	Dose de risco ponderado	–
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	FOF	Concentração de ozônio fotoquímico	kg
Formação de Material Particulado	FMP	Inalação de PM ₁₀	kg
Ecotoxicidade Terrestre	ETT	Concentração de risco ponderado	m ² ×ano
Ecotoxicidade da Água Doce	ETD	Concentração de risco ponderado	m ² ×ano
Ecotoxicidade Marinha	ETM	Concentração de risco ponderado	m ² ×ano
Radiação Ionizante	RI	Dose absorvida	homem×Sv
Ocupação de Terra Agrícola	OTA	Ocupação	m ² ×ano
Ocupação de Solo Urbano	OSU	Ocupação	m ² ×ano
Transformação de Área Natural	TAN	Transformação	m ²
Depleção Hídrica	DH	Quantidade de água	m ³
Depleção de Recursos Minerais	DRM	Diminuição de minério	kg ⁻¹
Depleção de Combustíveis Fósseis	DCF	Poder calorífico inferior	MJ

* A unidade do indicador apresentada é a unidade do fenômeno químico ou físico modelado. No método ReCiPe 2008 estes resultados são representados relativos a uma intervenção de referência em um estudo de ACV concreto. [‡] A unidade ppt se refere a unidades de cloro equivalente.

Tabela 6: Relação entre as categorias intermediárias e seus indicadores (Tourinho, 2014).

Além dos indicadores, as categorias de impactos intermediárias dispõe de fatores de caracterização, que são referidos, geralmente como potenciais. Esses foram confeccionados matematicamente através de expressões que integram as variáveis relevantes. A tabela 7 apresenta a relação entre as categorias de impacto intermediárias e seus respectivos fatores de caracterização.

Categoria intermediária		Fator de caracterização
Abrev.	Unidade*	Nome
MC	kg (CO ₂ para o ar)	Potencial de aquecimento global
RCO	kg (CFC-11 para o ar)	Potencial de depleção da camada de ozônio
AT	kg (SO ₂ para o ar)	Potencial de acidificação terrestre
EAD	kg (P para a água doce)	Potencial de eutrofização na água doce
EM	kg (N para a água doce)	Potencial de eutrofização marinha
TH	kg (14DCB [¶] para o ar urbano)	Potencial de toxicidade humana
FOF	kg (NMVOC para o ar)	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos
FMP	kg (PM ₁₀ para o ar)	Potencial de formação de material particulado
ETT	kg (14DCB para o solo industrial)	Potencial de ecotoxicidade terrestre
ETD	kg (14DCB para a água doce)	Potencial de ecotoxicidade da água doce
ETM	kg (14DCB para a água salgada)	Potencial de ecotoxicidade marinha
RI	kg (U ²³⁵ para o ar)	Potencial de radiação ionizante
OTA	m ² ×ano (terra agrícola)	Potencial de ocupação de terra agrícola
OSU	m ² ×ano (solo urbano)	Potencial de ocupação de solo urbano
TAN	m ² (área natural)	Potencial de transformação de área natural
DH	m ³ (água)	Potencial de depleção hídrica
DRM	kg (Fe)	Potencial de depleção de recursos minerais
DCF	kg (óleo [‡])	Potencial de depleção de combustíveis fósseis

* A unidade da categoria intermediária aqui é a unidade do resultado do indicador, assim representado relativo a uma intervenção de referência em um estudo concreto de ACV. [¶]14DCB: 1,4-Diclorobenzeno. [‡] A extração de referência precisa é “oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground” (petróleo bruto, matéria-prima, 42 MJ por kg, no solo “tradução do autor”).

Tabela 7: Categorias intermediárias de impacto e seus respectivos potenciais de caracterização (Tourinho, 2014).

As categorias finais de impactos também apresentam relação com seus respectivos fatores de caracterização. A tabela 8 ilustra tais relações.

Pontos finais de Categoria		Indicador	
Nome	Abrev.	Nome	Unidade
Danos à saúde humana	SH	Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (DALY)	ano
Danos à diversidade do ecossistema	DE	Perda de espécies durante um ano (species.yr)	ano
Danos à disponibilidade de recursos	DR	Aumento do custo	\$

Tabela 8: Pontos finais de categoria e seus respectivos indicadores (Tourinho, 2014).

O primeiro apresentado na tabela é o DALY (Disability Adjusted Life Years), que representa “anos de vida perdidos ajustados por incapacidade” (Tourinho, 2014). Tal categoria final contabiliza impactos que prejudicam a qualidade do ser humano, ou a saúde e até mesmo incapacidade e mortalidade.

Já a categoria final de danos à diversidade do ecossistema realiza-se através de modelagem matemática mais complexa, por existirem muitas variáveis fluxo de entradas e saídas são incertas. De forma generalizada obtém-se a equação 1 (Goedkoop, 2013; Tourinho, 2014).

$$CFED = PDF_{terr} SD_{terr} PDF_{fw} SD_{fw} PDF_{mw} SD_{mw} \quad (1)$$

Onde,

CFED é o ponto final de categoria para danos à diversidade do ecossistema;

PDF_{terr} é o fator de caracterização em PDF₂.m².ano;

SD_{terr} é o fator de densidade de espécies para sistemas terrestres, em espécie/m²;

PDF_{fw} é o fator de caracterização em PDF.m³.ano;

SD_{fw} é a densidade de espécies para sistemas dulcícolas, em espécie/m³;

PDF_{mw} é o fator de caracterização em PDF.m³.ano;

SD_{mw} é a densidade de espécies para sistemas marinhos, em espécie/m³.

A categoria de danos à disponibilidade de recursos, isso é, esgotamento dos mesmos, trata do “aumento do custo marginal (MCI, do inglês marginal cost increase) devido à extração de um recurso, sendo o MCI o fator que representa o aumento do custo de uma commodity r (US\$/kg), devido a uma extração ou produção (kg) de um recurso (GOEDKOOP et alii, 2013). A unidade do MCI é em dólares americanos no ano de 2000 por quilo ao quadrado (US\$/kg²). Também é levado em consideração o valor do custo presente em \$/kg.” (Tourinho, 2014).

Segundo Goedkoop et alii (2013), que é quem desenvolveu o método, o ReCipe 2008 apresenta incertezas, as quais são estruturadas em três grupos de escolhas baseadas em diferentes perspectivas (individualistas, hierárquico e igualitário), apresentados na tabela 8, baseando-se na “Teoria Cultural” de Thompson (1990). Além de incertezas, o método também apresenta limitações, como por exemplo no âmbito regional, pois tal metodologia foi elaborada tendo como base regiões temperadas, com isso, diferenças meteorológicas das áreas tropicais, disponibilidade de água e outras condições climáticas locais podem afetar a validade do mesmo.

Perspectiva	Perspectiva de tempo	Generalidades	Nível requerido de evidência
H (hierarquia)	Balço entre curto e	Políticas adequadas	Inclusão baseada em

I (individualista)	longo prazo	podem evitar problemas	consenso
	Curto prazo	Tecnologia pode evitar problema	Somente efeitos comprovados
E (equalitário)	Longo prazo	Problemas podem levar a catástrofes	Todos os efeitos possíveis

Tabela 8: Gestão de escolhas subjetivas.

2.5.5 Interpretação

Segundo o sistema normativo da ISO 14040 a definição para interpretação de ACV é, basicamente, o conjunto de “constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto são combinadas, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definido, visando alcançar conclusões e recomendações” (ABNT, 2001, p.7). Essas constatações são comparadas com o objetivo e o escopo do estudo, a fim de analisar as informações obtidas, deixando claras as limitações e incertezas (Costa, 2007). Além disso, a partir dessas, pode-se alcançar as conclusões e recomendações para futuros trabalhos, ou ainda para partes interessadas, empresas, produtores, ambientalistas ou o próprio governo.

Essa etapa interpretativa compreende três pontos principais (Chehebe, 1997; Ferreira, 2004). O primeiro é a identificação das questões ambientais mais significativas, tendo como base o ICV e a AICV. Depois, faz-se a avaliação de integridade, sensibilidade e consistência. E finalizando, as elaboram-se, então, as conclusões, recomendações e relatórios referentes às questões ambientais significativas.

O sistema é interativo, à medida que informações obtidas nessa etapa podem influenciar as etapas anteriores. Por isso, as diversas etapas do estudo devem ser continuamente estruturadas, a fim de se obter o resultado mais verossímil possível. Dessa forma é possível identificar pontos críticos no ciclo de vida, permitindo melhoramentos na estratégia de produção do mesmo.

2.5.6 Utilização de softwares: SimaPro

A ACV é uma poderosa ferramenta para avaliação de impactos ambientais. Mas ao mesmo tempo apresenta diversas dificuldades, que demandam tempo e custo. Uma das maiores dificuldades nesse processo é a elaboração de inventário, tendo em vista até as variações regionais do meio ambiente. Além da dificuldade na aquisição de dados, tais como emissões,

vazões, variáveis de processo e de operação, ainda existem as dificuldades após formulação de tais dados, que consiste nas subsequentes etapas da ACV, a complexidade e as interconexões entre os aspectos analisados são só alguns dos exemplos de dificuldades enfrentadas na construção de uma ACV.

Dentre tantas variáveis, metodologias, modelos matemáticos, bases extensas de dados, análises, tomadas de decisão, incertezas, e outros, fez-se necessário o uso de computadores, que facilitando a compilação de tantas informações dinamiza o processamento dessas. Dessa forma, alguns softwares computacionais foram desenvolvidos para realizar a ACV completa. Fundamentalmente financiados por empresas ao longo do planeta. BOUSTED, ECOLOGIC, IDEA, PEMS, TEMIS, SimaPro, EcoPack2000, TEAM, OfE, LIFEWAY, LCAiT, GaBi, KCL-ECO, TetraSolver, POLCAGE, GEMIS e Umberto são alguns exemplos desses (LEE et alii, 2009; PIERAGOSTINI et alii, 2012; EEA, 1997).

Resumidamente os mais utilizados por empresas de consultoria em sustentabilidade são o SimaPro, para estudos ambientais e do ciclo de vida, o Umberto, para análise do fluxo de materiais e energia e ACV, o Umberto for Carbon Footprint, para cálculo de economia de carbono e o e!Sankey, para elaboração de diagramas de fluxo.

Como líder em estudos de ACV, utilizado por indústrias, institutos de pesquisa e consultorias em mais de oitenta países (ACV Brasil, 2013), e de particular interesse nesse trabalho, o SimaPro será estudado e utilizado de forma detalhada. Esse foi desenvolvido pelo grupo holandês PRé Consultants no ano de 1990 para a análise de produtos, serviços e processos de acordo com o sistema normativo ISO 14040 (Zbicinski, 2006).

A utilização do SimaPro permite modelar produtos e sistemas a partir de uma perspectiva de ciclo de vida, construir modelos complexos de uma forma sistemática e transparente, além de acessar bibliotecas de inventário do ciclo de vida, tal como o Ecoinvent (Carvalho, 2013). Esse software possibilita uma variedade de aplicações, tais como o cálculo de pegada de carbono, relatórios ambientais, design do produto e eco-design, declarações ambientais de produtos, avaliação do impacto ambiental de produtos ou serviços e determinação de indicadores de desempenho. Basicamente ele gera dados, armazena dados, executa cálculos e verifica a credibilidade desses.

2.6 Segurança

Em meio a tantas preocupações ambientais surgem de forma complementar as preocupações com a segurança do processo, que pode ter grande impacto ambiental se forem

infringidas ou ainda preocupações de segurança e saúde voltadas aos trabalhadores e moradores da região. E existe uma preocupação latente, também nessas áreas, por parte das Diretivas Europeias, como foi descrito acima. Por isso parte desse trabalho é dedicada ao estudo da gestão de segurança e saúde, além da avaliação dos impactos ambientais.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para melhor compreender e lidar com os impactos ambientais. A mesma ajuda na identificação de oportunidades visando à melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida, além de auxiliar na tomada de decisões e na seleção de indicadores de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição. Mantendo essa mesma sequência de preocupações as áreas de segurança e saúde através de seus riscos e perigos, também possuem ferramentas que as auxiliam a compreensão e ajudam na prevenção.

A etapa mais delicada para o sucesso de um projeto é a tomada de decisão para definir o traçado do mesmo. Logo um projeto com ampla multidisciplinaridade e problemas de decisão complexos, como é o caso da produção de biodiesel, quer uma análise criteriosa, baseada em um método multicritério de auxílio à tomada de decisão que assegurará a ordenação das alternativas de traçado, indicando a solução mais adequada para que este posteriormente seja competitivo e atenda aos critérios socioeconômicos com sucesso (Lisboa, 2002).

Através da aplicação do Método de Auxílio à Tomada de Decisão de autoria do Prof. Thomas Saaty da Universidade da Pensilvânia, denominado Método de Análise Hierárquica – MAH, do inglês Analytic Hierarchy Process – AHP, consegue-se, através de modelagem matemática, uma avaliação estratégica e preliminar de impactos socioambientais. Diversas referenciais abrangem o método nos temas de meio ambiente, transporte e segurança, como por exemplo, Zhu; Dale (2001), Ramanathan (2001), DERSA (2000), Kalamaras et al. (2000), Rabbani; Rabbani (1996) e Gomes; Lima (1991) e muitos outros.

Tal método estrutura-se hierarquicamente dos objetivos, critérios e indicadores, além de outras considerações impostas ao estudo, para melhor compreensão e avaliação. Depois se faz comparações entre pares de indicadores e critérios, quanto à importância de cada um, em relação ao objetivo, construindo matrizes de comparações paritárias. “Através da técnica do autovetor (Saaty, 1980), o MAH calcula os pesos locais e globais para cada critério/indicador nos vários níveis hierárquicos e em relação às alternativas em estudo”. Estabelecendo-se assim, uma ordenação de alternativas, para que se possa avaliar e tomar decisões de escolhas mais adequadas à realidade do processo entre os diversos objetivos a serem alcançados simultaneamente. Além disso, Chaves, Alcântara e Assumpção (2008) afirmam que “a mensuração do desempenho é

importante para verificar se os objetivos estabelecidos pela empresa estão sendo alcançados, ajudando ainda na melhor aplicação dos recursos”.

Um poderoso instrumento que auxiliará no foco e dimensionamento de riscos e perigos é a Matriz de Riscos, mais especificamente a matriz elaborada por HADDAD et al, (2008). Essa utiliza-se de informações qualitativas e quantitativas a fim de apontar um caminho assertivo na tomada de decisões. De acordo com o autor, “Para o desenvolvimento desta matriz, os perigos são ranqueados aproveitando a experiência dos profissionais especialistas da área, classificados (físicos, químicos, biológicos, de acidentes e ergonômicos) e são definidos pesos de severidade”. Para se determinar o grau (1, 3 ou 9) de risco, são definidos números de trabalhadores, subdivididos em setores de trabalho e a presença de agentes de risco nesses locais.

Com tal parametrização determinada, fica evidente a visualização das áreas com maior probabilidade de riscos, permitindo que ações preventivas sejam realizadas nos pontos em questão a fim de evitar que acidentes concretos ocorram. A figura 8 mostra a Matriz de Riscos desenvolvida por HADDAD et al, (2008).

Sector	Nr of employees	Physical	Chemical	Ergonomics	FS	%
S1	10	0	0	3	30	25.21
S2	5	3	0	9	60	50.42
S3	2	9	0	0	18	15.13
S4	1	1	9	1	11	9.24
FH		34	9	76	119	100
%		28.58	7.56	63.86	100	

Figura 8: Matriz de risco HADDAD et al, (2008).

Primeiramente cabe distinguir de forma técnica, através de conceitos e características pertinentes, as diferentes formas de tratar a segurança na indústria de processos. A qual, segundo Luiz Fernando Oliveira (2007) é subdividida em duas categorias, Segurança Ocupacional e Segurança de Processo. A primeira relaciona-se diretamente com o trabalhador, que é passível de diversos acidentes de trabalho, como amputações, fraturas ósseas, queda de altura, choques

elétricos, queimaduras e outros. Já a Segurança de Processo é categorizada por acidentes diretos no processamento, como por exemplo, em equipamentos (bombas, válvulas, tubulações, conexões etc.), através de descontroles operacionais, vazamentos, fendas e outros, que por sua vez podem ocasionar consequências perigosas, como vazamento de produtos tóxicos, incêndios ou até mesmo explosões.

De acordo com Ian Sutton (1997), “gerenciamento de Segurança de Processo é um programa que envolve todos os gerentes, empregados e trabalhadores contratados, que visa minimizar as mudanças que não estão sobre controle nos projetos e/ou propostas de operação da área que eles estão operando”. Segundo o mesmo o gerenciamento de Segurança de Processo deve ser analisado como um Processo, pois abrange de forma ampla o tema e inclui todas as partes, além de necessitar de melhorias contínuas. Sendo composto por Programas, de completude e aceitabilidade, como por exemplo, a implantação de sistemática de gerenciamento de mudança e a adoção de um programa de análise de risco das instalações.

Os diversos aspectos da segurança abordados anteriormente são investigados através dos indicadores operacionais de processo. Esses darão a funcionalidade básica para a análise de identificação de riscos ou perigos (riscos relacionados à operação da planta e análise preliminar de perigos e riscos), além do estudo quantitativo, que avalia a frequência e a consequência.

O *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) organizou de forma integrada a Segurança de Processo em 20 elementos de gerenciamento (PSM) associados aos quatro pilares, conforme figura 9. E o *Occupational Safety and Healthy Administration* (OSHA), também apresentou de forma integrada tal questão em 14 elementos, tais como participação dos empregados, informações sobre segurança de processo, análise dos perigos de processo, procedimentos operacionais, treinamento, contratados, revisão de segurança pré operacional, integridade mecânica, permissão de trabalho a quente, gerenciamento de mudanças, investigação de incidentes, planejamento de emergência, auditoria e confidencialidade.

▪ Compromisso com a segurança de processo	1.	Cultura de Segurança de Processo
	2.	Atendimento às Normas
	3.	Competência em Segurança de Processo
	4.	Envolvimento da Força de Trabalho
	5.	Atendimento aos <i>Stakeholders</i>
▪ Entender perigos e riscos	6.	Gerenciamento de Conhecimento de Processos
	7.	Identificação dos Perigos e Análise de Riscos
▪ Gerenciar riscos	8.	Procedimentos Operacionais
	9.	Práticas de Trabalho Seguro
	10.	Confiabilidade e Integridade Mecânica
	11.	Gerenciamento de Contratos
	12.	Treinamento & Acompanhamento de Performance
	13.	Gerenciamento de Mudanças
	14.	Prontidão Operacional
	15.	Condução das Operações
	16.	Gerenciamento de Emergências
	▪ Aprendendo com a experiência	17.
18.		Métricas & Indicadores
19.		Auditorias
20.		Gerenciamento de Revisões & Melhoria Contínua

Figura 9: Segurança de Processo em 20 elementos de gerenciamento, associados aos quatro pilares (CCPS).

Tais modelos não concretizam o fim de riscos e perigos e nem a padronização da Segurança de Processo, mas facilitam a atuação e o entendimento na área.

3 Metodologia

Este capítulo abrange a metodologia AICV, detalhes da ferramenta computacional e as premissas utilizadas para definição do objetivo, escopo e consolidação de inventário. A fim de realizar o levantamento de dados, visitas técnicas foram realizadas em fazendas e indústrias nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Porém apesar de todo o conhecimento de processo adquirido nos locais, a utilização de tais dados não se concretizou. Sendo assim, para nesse estudo utilizou-se como base a recente consolidação de inventário do extenso trabalho de Alejos (2014), pois esta apresenta um processo muito semelhante ao visitado, considerando as nuances brasileiras.

3.1 Método AICV e ferramenta computacional

O método de avaliação de impacto ambiental utilizado foi o ReCipe 2008 para a avaliação de impacto de ciclo de vida. Essa escolha teve como base a classificação e características, assim, cada substância foi classificada numa determinada categoria de impacto, e

harmonizou-se os valores de midpoint foram baseados em algo antes do dano ocorrer e os valores do endpoint foram atribuídos com base no dano (Goedkoop, 2013).

Com o software SimaPro 7.2 fez-se o levantamento do inventário de ciclo de vida. Para tal, utilizou-se a biblioteca de métodos e dentre os mais de dezessete métodos de avaliação de impacto, o “ReCiPe Midpoint (E) versão 1.04/World ReCiPe E/E” foi utilizado para classificação e caracterização.

O método de AICV “ReCiPe Endpoint (E) / World ReCiPe E/E”, também disponibilizado pelo software, foi utilizado para as devidas ponderações, normalização e diagramas de Sanket. A normalização foi feita através de valores mundiais do grupo de incerteza com perspectiva igualitária pertencente ao conjunto normalização/ponderação "World ReCiPe E/E" (Tourinho, 2014).

3.2 Definição do objetivo e escopo

Este trabalho visa à elaboração do inventário de ciclo de vida do sistema de produto do biodiesel, através da consideração dos valores referentes a entradas e saídas do processo, fluxos de materiais e energia, além dos impactos ao ciclo de vida do biodiesel, produzido através da transesterificação com metanol e tendo hidróxido de sódio como catalizador. E partindo da mesma base funcional possibilitar futuras comparações com outros trabalhos.

Tendo em vista a diversificação dos motores que utilizam o biodiesel, tais como alguns modelos de carro de passeio, caminhões, alguns motores aéreos, navios e barcos, motores de transporte público, como ônibus e trens, além de aplicações industriais, como geradores de energia elétrica, equipamentos de mineração e outros, torna-se quase inviável a escolha do uso final do mesmo. Essa escolha afeta muito os resultados do estudo, pois cada uma dessas possibilidades impacta de maneira diferente o meio ambiente, em contra partida, a escolha de somente uma dessas iria restringir o trabalho, tornando-o irrelevante tendo em vista o mercado global. Por isso o uso final do biodiesel metílico de soja foi desconsiderado neste trabalho, juntamente com o transporte do mesmo até a indústria e na saída dela. Descartando-se essa função, tornam-se necessários futuros estudos comparativos entre diferentes utilidades do biodiesel brasileiro.

Outra definição a ser feita é a unidade funcional. Tal base quantitativa tornará o resultado conciso e comparativo. Por isso, para esse estudo é avaliado o desempenho ambiental ao longo da produção de 1(uma) tonelada de biodiesel metílico de soja (B100). Os impactos causados pela utilização do mesmo, independentemente da proporcionalidade na mistura, não

serão considerados neste trabalho. Adotando como unidade funcional 1000 Kg do produto, devido a maior simplicidade na modelagem matemática do sistema e na expressão de resultados de inventário (Alejos, 2014).

Dessa forma delimitou-se a fronteira do sistema, como pode ser visto na figura 9. No estudo dos limites do sistema definido para a avaliação do ciclo de vida do biodiesel metílico de soja, estão inclusos o beneficiamento do gás natural, que por sua vez é utilizado na produção de metanol, o qual, depois da matéria prima, é o componente de maior relevância na transformação industrial, além disso, é considerada dentro dos limites do sistema a extração do óleo de soja, e por sua vez sua transformação a biodiesel. Considerando as condições climáticas brasileiras, tais como proveniência do óleo de soja, solo de cultivo, climas tropicais e outros.

Porém algumas etapas do ciclo de vida não pertencem estritamente às fronteiras nacionais, o que é comum num mundo globalizado em que há exportações e importações de diversos produtos. No caso no Brasil, “aproximadamente 30% do petróleo utilizado no Brasil é importado” (Alejos, 2014).

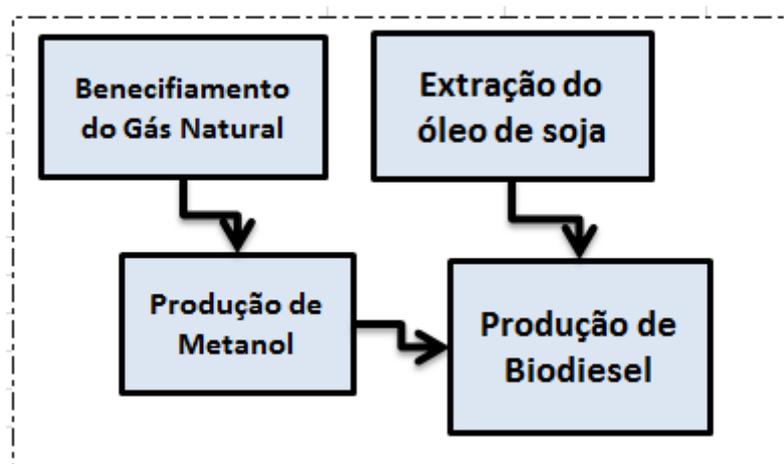


Figura 9: Limite do sistema da ACV de biodiesel metílico de soja.

As operações do sistema que serão consideradas são: (1) beneficiamento do gás natural; (2) produção do metanol; (extração do óleo de soja); (4) produção de biodiesel. Esse contexto refere-se a extensão do limite de fronteira “portão ao portão”, do inglês “gate to gate”. Isso significa que só são contabilizadas, para fins de impactos, as entradas a partir do início do esmagamento (etapa de extração do óleo de soja), até a saída do produto final. A inclusão do subsistema de metanol é importante, tendo em vista a contribuição dos fluxos de materiais e energias envolvidos nessa etapa (Alejos, 2014).

Os dados de balanço de massa e energia, assim como dados específicos e suporte na elaboração do fluxograma do processo, para as etapas de extração do óleo de soja e produção do biodiesel foram extraídos do “Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus”, que é um documento completo elaborado pela National Renewable Energy Laboratory (NREL, 1998). Já os dados utilizados nas etapas de beneficiamento do gás natural e produção do metanol são provenientes da simulação de processo através modelagem computacional (Alejos, 2014).

Outro ponto é a consideração de tecnologias atuais em cada etapa do processo, por isso as tendências tecnológicas não foram consideradas. Foram descartadas do estudo as considerações para construção de equipamentos, edifícios, estradas e outros.

3.3 Premissas

Abaixo são listadas as premissas utilizadas para a elaboração da ACV do biodiesel obtido através de rota metflica, com catalizador hidróxido de sódio. A base de cálculo na elaboração das premissas foi realizada a partir do estudo de Alejos (2014).

- ✓ Foi utilizada alocação de impactos, através da estratégia de divisão de sistemas de coprodutos. Foram considerados coprodutos o farelo de soja e a lectina no processo de extração de óleo de soja, o dimetil éter na produção de metanol e o glicerol na produção de biodiesel, não foram considerados coprodutos no beneficiamento do gás natural.
- ✓ O produto considerado é o biodiesel metflico de soja.
- ✓ Considera-se como fluxo, todas as entradas e/ou saídas de massa e energia (fluxo/Kg de produto). A composição do fluxo total é apresentada abaixo, na equação 2, através dos elementos E_1 (Etapa da extração do óleo de soja), F_{A1} (Fator de alocação para o óleo de soja), E_2 (Etapa da produção do metanol), F_{A2} (Fator de alocação para a produção de metanol), E_3 (Etapa da produção do biodiesel metflico), F_{A3} (Fator de alocação para a produção de biodiesel).

$$\text{Fluxo} = (E_1 \times F_{A1}) + (E_2 \times F_{A2}) + (E_3 \times F_{A3}) \quad (2)$$

- ✓ A etapa de extração do óleo de soja foi realizada por solvente ciclohexano (Sheehan, 1998).
- ✓ Tendo em vista a fronteira estabelecida para esse estudo o deslocamento, que ocasionaria um impacto devido ao transporte, foi desconsiderado. Isso ocorreu devido ao fato da

esmagadora visitada ser vizinha da usina, também visitada, e o transporte ser realizado através de um oleoduto de cerca de 300 metros.

- ✓ Para etapa de produção de biodieselé considerada a transesterificação com álcool metílico, através de catálise básica (Borges, 2014).
- ✓ A etapa utilizando gás natural considera os processos de extração e beneficiamento do mesmo (Ribeiro, 2006).
- ✓ A produção de metanol é produzida a partir da reforma do gás natural (Simulação em ambiente ASPEN, realizada no trabalho de Alejos, 2014).
- ✓ O hidróxido de sódio (NaOH) é o insumo utilizado na catálise da produção do biodiesel, como catalizador na transformação de óleo de soja (Borges, 2014).
- ✓ Não foram considerados os impactos causados pela produção do petróleo e seus derivados, tanto nos países de origem (caso do petróleo importado), quanto o nacional.
- ✓ Não foram considerados os impactos da etapa de plantio, visto que esta foge ao escopo do trabalho.
- ✓ Não foram consideradas as emissões e demais impactos causados pelos deslocamentos e transportes de matérias primas e produto acabado.
- ✓ O uso da água foi desconsiderado neste estudo, não pelo fato do volume ser insignificante, pois não o é, tendo em vista a etapa de refrigeração na produção de biodiesel, que o consumo da mesma é elevado. Porém como se trata de uma região brasileira rica em recursos hídricos naturais, considerou-se que a água é proveniente da natureza, por isso não há impacto na utilização da mesma.
- ✓ O consumo de energia total foi efetuado com ponderações entre os consumos de energia não renovável, renovável, petróleo, carvão, gás natural e urânio (Vianna, 2002; Bem, 2011).
- ✓ A ferramenta de avaliação de impacto ambiental utilizada foi o software SimaPro versão 7.2, o método de avaliação de impacto ambiental escolhido foi o ReCipe 2008 e a base de dados utilizada da biblioteca do programa foi o Ecoinvent Unit (possui valores físicos).

3.4 Construção de inventário

O programa foi alimentado com os dados calculados pelo engenheiro químico Carlos Alejosem sua tese de mestrado, compilando os dados das etapas de extração de óleo de soja e da produção do biodiesel do relatório norte americano “Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus” produzido pelo Departamento de Agricultura e

Energia. Além disso, para as etapas de beneficiamento de gás natural e produção de metanol, o mesmo autor simulou o processo em ASPEN HYSS (ASPENTECH INC) a fim de obtenção de dados para utilização na ACV.

Alimentando o SimaPro, com os dados desta revisão bibliográfica, é possível obter o inventário de ciclo de vida, incluindo os fluxos de energia e massa. Todos os dados defaults no programa são comentados e revisados, explicando detalhadamente condições de obtenção, partes do processo, condições regionais e ambientais consideradas, e outros (Frischknecht, 2007).

3.4.1 Inventário do beneficiamento de gás natural

Para a obtenção do inventário de ciclo de vida da extração e beneficiamento de gás natural é baseado no processo produtivo da Petrobras FAFEN. Essa necessita utilizar o gás beneficiado em seu processo de reforma catalítica para produção de amônia, sendo esse 65% da matéria prima utilizada (Ribeiro, 2009). Tal inventário é apresentado na tabela 9 e foi desenvolvido por especialistas da própria Petrobras FAFEN (Kulay, 2006). A utilização de tais dados torna a ACV mais verossímil.

Entradas e saídas	Unidade	1Kg de Gás Natural	723,8Kg de GN
Energia	GJ	$4,34 \cdot 10^{(-6)}$	0,003141292
Gás Natural	Kg	$1,03 \cdot 10^{(0)}$	745,514
Água	Kg	$1,97 \cdot 10^{(-2)}$	14,25886

Tabela 9: Inventário da extração e beneficiamento de gás natural (Kulay, 2006).

O referido estudo considera 2,9% de vazamento, sendo necessária a extração de 1,03Kg de gás natural para disponibilizar 1Kg deste. Considerando o poder calorífico do gás natural em torno de 38 MJ/Kg, faz-se necessária a utilização de $1,14 \cdot 10^{(-4)}$ Kg de gás natural para gerar $4,34 \cdot 10^{(-6)}$ GJ de energia (Kulay, 2006). O mesmo estudo considera a concentração de metano no gás natural em torno de 91%, tornando sua utilização favorável (Ribeiro, 2009).

Tendo em vista, que a utilização desse gás beneficiado acontece na etapa subsequente (produção de metanol), faz-se necessária a contabilização nas devidas proporções. Isso significa que ao invés de calcular a produção de 1Kg de GN, o que é o caso do valor referenciado por Alejos (2014), utilizou-se o input para a produção de 723, 8Kg de GN, pois essa é a quantidade necessária na etapa subsequente.

3.4.2 Inventário de produção de metanol

Esta parte do estudo da ACV da produção de biodiesel torna-se oportuna para uma futura melhoria, tendo em vista a substituição no uso de energia fóssil (gás natural) por matéria

prima de fonte renovável na produção do metanol. Para a obtenção de dados desta etapa, foi feita uma revisão bibliográfica e como a maioria dos estudos encontrados refere-se à simulação de processo via ferramenta computacional, utilizou-se a simulação realizada na tese de mestrado (Alejos, 2014) que serviu como base deste trabalho, para harmonizar os dados gerais a fim de futuras comparações.

A seguir são apresentados os valores obtidos através da simulação do processo produtivo de metanol em ASPEN HYSS (ASPENTECH INC), realizada pelo engenheiro químico Carlos Alejos (2014) em sua tese de mestrado. A figura 10 mostra o fluxograma do processo, enquanto a tabela 10 a apresenta seus valores, respectivamente.

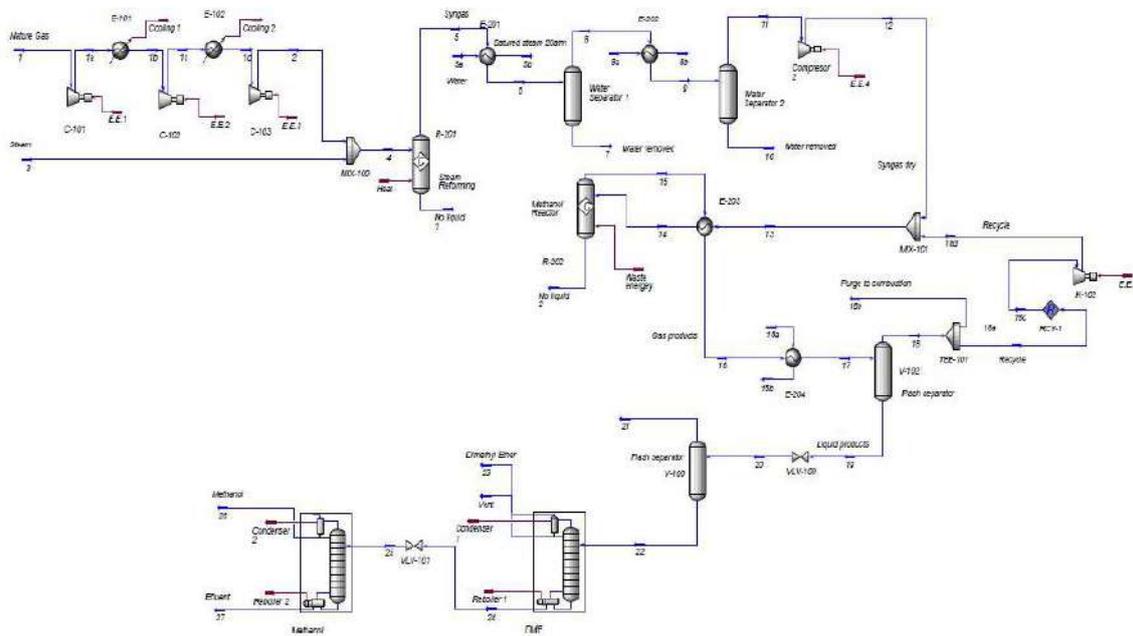


Figura 10: Fluxograma de produção de metanol em ambiente ASPEN (Alejos, 2014).

Material Streams												
	1	1a	1b	1c	1d	2	3	4	5	5a	5b	
Vapour Fraction	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9854	1,0000	0,0000	1,0000
Temperature	C	25,00	149,2	45,00	137,9	50,00	135,9	213,0	200,7	880,0	35,00	213,0
Pressure	kPa	101,3	350,0	350,0	900,0	850,0	2026	2026	2026	2026	2026	2026
Molar Flow	kgmole/h	56,33	56,33	56,33	56,33	56,33	56,33	208,7	267,0	365,9	310,2	310,2
Mass Flow	kg/h	1000	1000	1000	1000	1000	1000	3759	4759	4759	5588	5588
Liquid Volume Flow	m3/h	3,181	3,181	3,181	3,181	3,181	3,181	3,767	6,948	9,985	5,600	5,600
Heat Flow	kJ/h	-4,390e+006	-4,104e+006	-4,347e+006	-4,132e+006	-4,336e+006	-4,137e+006	-4,930e+007	-5,344e+007	-3,466e+007	-8,813e+007	-7,329e+007
	6	7	8	8a	8b	9	10	11	12	13	14	
Vapour Fraction	0,6656	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,9384	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	
Temperature	C	110,0	110,0	110,0	95,00	50,00	60,00	60,00	60,00	186,5	80,21	250,0
Pressure	kPa	2026	2026	2026	101,3	51,32	2026	2026	2026	5066	5066	5046
Molar Flow	kgmole/h	365,9	122,4	243,5	877,6	877,6	243,5	14,99	228,5	228,5	933,6	933,6
Mass Flow	kg/h	4759	2206	2553	1,581e+004	1,581e+004	2553	270,4	2282	2282	6053	6053
Liquid Volume Flow	m3/h	9,985	2,213	7,772	15,84	15,84	7,772	0,2712	7,501	7,501	31,02	31,02
Heat Flow	kJ/h	-4,950e+007	-3,404e+007	-1,546e+007	-2,494e+008	-2,484e+008	-1,646e+007	-4,229e+006	-1,223e+007	-1,135e+007	-2,156e+007	-1,660e+007
	15	16	No liquid 1	No liquid 2	17	16a	16b	18	19	18b	18a	
Vapour Fraction	1,0000	0,9750	0,0000	0,0000	0,9140	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	
Temperature	C	260,0	108,3	880,0	260,0	45,00	35,00	50,00	45,00	45,00	45,00	
Pressure	kPa	5046	5046	2026	5046	5046	101,3	101,3	5046	5046	5046	
Molar Flow	kgmole/h	834,6	834,6	0,0000	0,0000	834,6	3213	3213	782,9	71,75	57,21	
Mass Flow	kg/h	6053	6053	0,0000	0,0000	6053	5,788e+004	5,788e+004	4078	1975	305,9	
Liquid Volume Flow	m3/h	27,84	27,84	0,0000	0,0000	27,84	58,00	58,00	25,45	2,393	1,909	
Heat Flow	kJ/h	-2,038e+007	-2,533e+007	0,0000	0,0000	-2,900e+007	-9,130e+008	-9,093e+008	-1,103e+007	-1,797e+007	-8,276e+005	
	18c	20	21	22	23	24	25	26	Vent	27	18d	
Vapour Fraction	1,0000	0,0044	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1464	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
Temperature	C	45,00	45,09	45,09	45,09	119,0	147,5	105,0	96,15	119,0	138,3	
Pressure	kPa	5046	1135	1135	1135	1135	1135	344,5	344,5	1135	344,5	
Molar Flow	kgmole/h	705,0	71,75	0,3143	71,44	1,779e+002	70,43	70,43	47,63	0,9896	22,80	

Tabela 10: Composição das correntes de produção do metanol (Alejos, 2015).

Para realizar o balanço de massa foram considerados 1000Kg de gás natural, obtendo como resultado 1648,89Kg de metanol (1,6488Kg/Kg de gás natural) e 18,81Kg de dimetil éter (0,0188Kg/Kg de gás natural). Considerando essa mesma base, o balanço de energia é apresentado na tabela 11. Nesse caso fez-se necessária a utilização de energia térmica no reator de reforma catalítica, no reator de síntese de metanol e no reator das colunas de destilação de DME e metanol, utilizando-se também do gás natural para completar a energia requerida (Alejos, 2014).

Processo	MJ/1000Kg deGN
Requerimento de energia no reator de reforma do gás natural	18940,7
Energia térmica liberada no reator de metanol	-4110,32
Energia térmica requerida no reboiler da coluna de destilação do DME	1260,66
Energia térmica retirada do condensador da coluna de destilação do DME	-208,83
Energia térmica requerida no reboiler da coluna de destilação	3676,76

do metanol	
Energia térmica retirada do condensador da coluna de destilação do metanol	-4072,66

Tabela 11: Balanço de energia da produção de metanol (Alejos, 2014).

Dessa forma o inventário para produção de 1000Kg de metanol consiste em 1105MJ de energia elétrica total, 1705,93Kg de valor e 723,8Kg de gás natural. Algumas considerações foram realizadas para a obtenção desses cálculos, tais como as três operações que consomem energia elétrica (compressão do GN de 1 a 20 atm; compressão do gás de síntese de 20 a 50 atm; compressão do gás de reciclo, assumindo 75% de eficiência), o consumo de gás natural como matéria prima (606,47Kg/t de metanol produzido) e a desconsideração no consumo de água (explicitada nas premissas do trabalho).

Tendo em vista que na etapa de produção do biodiesel foram necessários 107,2Kg de metanol, os valores acima encontrados foram recalculados para input no SimaPro. Dessa forma, as devidas proporções utilizadas foram 118,5MJ de energia elétrica, 77,6Kg de gás natural e 182,9Kg de vapor, para a produção de 197,2Kg de metanol. A tabela 12 apresenta o devido balanço de massa na produção de metanol.

Entradas e saídas	Unidade	1Kg de Metanol
Energia elétrica	MJ	1105
Gás Natural	Kg	723,8
Vapor	Kg	1705,93

Tabela 12: Balanço de massa para produção de metanol.

3.4.3 Inventário de extração de óleo de soja

Nesta etapa, considera-se a entrada de energia elétrica, óleo combustível e gás natural, como fontes de energia, hexano, como solvente para extração do óleo e os grãos de soja, que é a matéria prima majoritária.

Utilizando-se a rota metflica, calculou-se o balanço de massa tomando como base a entrada de 1000Kg de soja, essa chegando à porta da esmagadora. Quando esses grãos chegam na indústria ele podem conter restos de bagaços, provenientes do plantio, rochas e pedras e outras impurezas. Por isso, é considerada a perda de 0,78% dessa massa em uma etapa de pré limpeza realizada. Dessa forma, entram na esmagadora apenas 992,13Kg de soja. Considerando que o grão de soja tem em média 19% de óleo, 13% de umidade, 2% de casca e 66% de fibras

(Sheehan, 1998), realizou-se os cálculos de todas as subetapas do processo de extração, tais como secagem, moagem, condicionamento, laminação e outras descritas acima, até a degomagem do óleo.

Assim, para a produção de 1000Kg de óleo de soja (já degomado, limpo e preparado para a etapa de transesterificação), obteve-se inventário de 192,17Kg de combustível, 170,05Kg de gás natural, 12,35Kg de hexano, 1661MJ de energia elétrica e 5927Kg de soja. Considerando-se que a eficiência da caldeira, que consome o óleo combustível, é de 80%, o gás natural é utilizado na etapa de secagem do grão e são necessários 266.275 kcal de gás natural/t de soja, além disso a quantidade da reposição de hexano é 0,0024 vezes a quantidade de soja, o consumo total de energia elétrica é 462kWh/t. de óleo de soja (sendo que 1KWh tem aproximadamente 3600KJ), segundo Alejos (2014). A tabela 13 representa resumidamente os principais valores desta etapa.

Entradas	Unidade	Unidade/t de óleo de soja
Grãos de soja	Kg	5927
Óleo combustível	Kg	192,17
Gás Natural	Kg	170,05
Hexano	Kg	12,35
Energia elétrica	MJ	1661

Tabela 13: Fluxo de entradas na etapa de extração de óleo de soja.

3.4.4 Inventário da produção de biodiesel

Considerando-se as etapas de da produção de biodiesel metílico de soja, tendo início no pré-tratamento passando pela transesterificação até o refino, consolidou-se o balanço material. Os cálculos tiveram como base o óleo de soja com 0,2% de gomas não hidratáveis, 1,53% de insaponificáveis, 0,51% de ácidos graxos, 97,75% de triglicerídeos e 0,015% de água. E utilizou-se a base produtiva de 1000Kg (1 tonelada) de biodiesel metílico de soja.

Algumas considerações foram realizadas, tais como, a utilização de 15% de NaOH em excesso a fim de neutralizar os ácidos graxos, considerando-se 99,8% de eficiência na remoção dos mesmos, o óleo neutro possui 600ppm de sabão, que contém todo o ác. graxo não reagido, recuperou-se 98,5% de triglicerídeos, a borra separada contém todo o excesso de NaOH,

insaponificáveis, goma e água formada, na secagem do óleo já lavado 99% da umidade foi removida e que na etapa de decantação das fases, o glicerídeo ocupa 50% em ambas as fases, 70% de metanol fica na fase glicerol e 98% dos ác. graxos fica na fase glicerol, juntamente com a água, sabões e o catalizador e que a recuperação do glicerol é de 98%. Também considera-se que a recuperação do metanol é de 100% com 99% de pureza, que 101490 (KJ/t de óleo cru) de energia foram desprendidas na etapa de transesterificação .

O vapor é utilizado em algumas subetapas do processo de produção do biodiesel, tais como o aquecimento do óleo para pré-tratamento, aquecimento de água de lavagem, secagem do óleo cru, reação de transesterificação, destilação para recuperação do metanol e secagem do biodiesel, em suma, em todas as subetapas em que a elevação da temperatura se faz necessária.

O resumo, com os valores relevantes para input no software, do balanço de massa e energia consolidados encontram-se na tabela 14.

Entradas/saídas	Unidade	Unidade/t de BMS
Óleo degomado de soja	Kg	1055
Metanol	Kg	107,2
NaOH (Catalizador e Neutralizador)	Kg	10,93
Vapor saturado a 11,4bar	Kg	743
Óleo combustível	Kg	57,52
Glicerol produzido	Kg	110,4
Energia elétrica	MJ	104

Tabela 14: Balanço de massa e energia de BMS (Alejos, 2014).

3.5 Análise de ICV

Segundo a ABNT “a análise do inventário do ciclo de vida está relacionada com a coleta dos dados e procedimento de cálculo que tem como objetivo quantificar as entradas e saídas dos contornos do sistema do produto. Estes dados vão constituir a base para a avaliação do impacto do ciclo de vida do produto incluindo o uso de recursos e liberações no ar, na água e no solo, relacionado ao sistema do produto” (ABNT, 2001)

Considerando todos os fluxos de entrada e saída um modelo de inventário de ciclo de vida foi proposto. A análise desse inventário, segundo a NBR ISO 14040, deve facilitar o agrupamento dos dados calculados em categorias de impacto . Para tanto, faz-se uso do objetivo e escopo, como base elementar que auxilia a estabelecer as categorias de dados calculados.

Segundo o sistema normativo ABNT NBR ISO 14041:2004, os principais critérios para a realização da Avaliação de Inventário do Ciclo de Vida são os de sistema de produto, de processo elementar e de categoria de impacto (Alejos, 2014).

Dessa forma, os dados acima cálculos foram utilizados para alimentar o programa, a fim de obter-se o inventário de ciclo de vida (Tourinho, 2014). A norma da ABNT recomenda a compilação dos dados em três grandes conjuntos de categorias de dados, tais como energia, matérias-primas e matérias auxiliares (produtos, emissões e outros). E o próprio programa faz esse grupamento, referindo-se a energia, materiais e transportes.

4 Resultados e Discussões

Utilizando-se o input no programa de todos os dados considerados na construção de inventário de ciclo de vida para o biodiesel metílico de soja e os balanços de massa e energia os resultados são expostos abaixo, juntamente com os resultados das categorias de impactos consideradas e a análise de sensibilidade.

4.1 Fluxo de materiais

Ao longo da vasta revisão bibliográfica realizada, do estudo de ACV e dos dados da consolidação de inventário tomada como base, pode-se perceber a água é o insumo que em termos mássicos é muito relevante tanto no processo de produção de metanol e de extração do óleo de soja, quanto no processo produtivo do biodiesel. Por isso a água seria um fator de grande importância na comparação entre ciclos de vida. Porém, como exposto nas premissas, a água considerada nesse estudo é proveniente de recursos hídricos naturais da própria região, por isso não gera impacto nem influencia no processo. Dessa forma, a mesma foi desconsiderada nos resultados a seguir, a fim de evidenciar os impactos e relevos realizados por outros componentes dos fluxos.

No processo do beneficiamento de gás natural as entradas consideradas são água (que apesar de ter sido desconsiderada, nessa etapa seu volume não é relevante), energia elétrica e o gás natural. Sendo que 98% do fluxo de entrada é dominado pelo gás natural. Já no processo de produção de metanol, as entradas consideradas foram energia elétrica, gás natural e vapor. No gráfico 10, fica claro que o vapor tem participação majoritária nesse processo, com cerca de 48%.

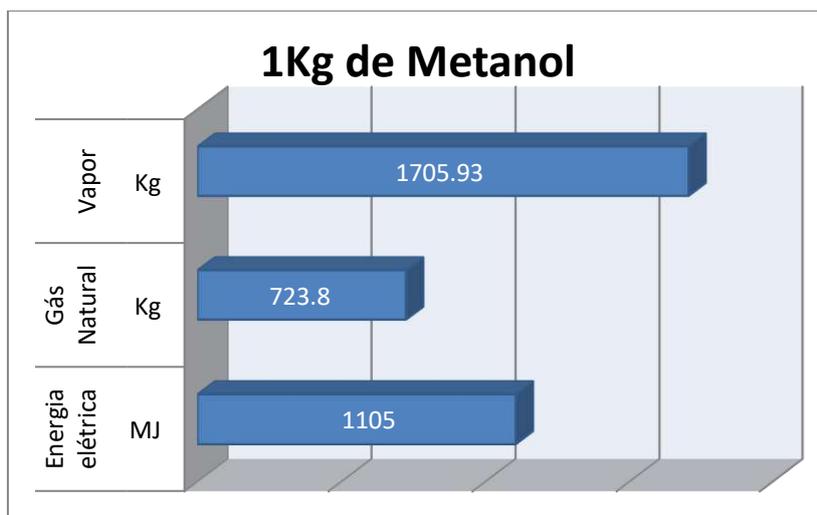


Gráfico 10: Fluxo de entradas na produção de metanol.

Na fase da extração do óleo de soja, as entradas consideradas foram apenas gás natural e óleo combustível (como energias utilizadas), solvente de extração (hexano) e os grãos de soja que chegam à esmagadora. Caso a água fosse considerada, ela representaria mais de 90% do percentual dos recursos utilizados (Alejos, 2014), mas excluindo a contabilização da mesma percebe-se através do gráfico 11 que a soja é matéria prima mais impactante, assumindo cerca de 75% de participação, sendo o solvente de mínima participação.

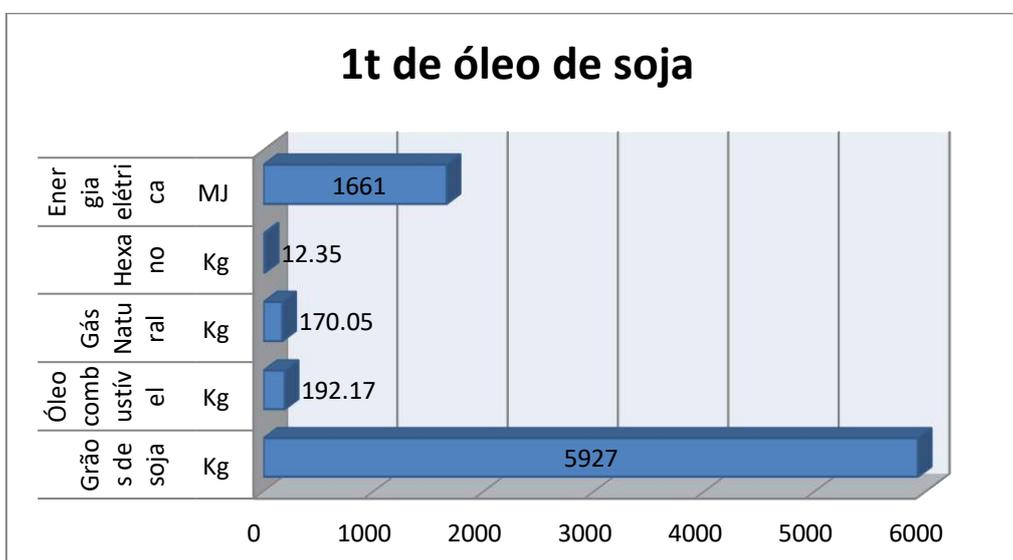


Gráfico 11: Fluxos de entradas na extração de óleo de soja.

Para esse estudo especificamente, a produção agrícola de soja não foi considerada dentro dos limites da fronteira, por dois motivos. O primeiro é que em todos os estudos prévios encontrados e utilizados como revisão bibliográfica para esse estudo, apresentam a etapa agrícola

da produção de soja como a mais impactante em uma ACV do berço ao túmulo. Isso ocorre, pois esta utiliza em grande escala calcário, fertilizantes e óleo diesel, que são muito agressivos ao meio ambiente, mas também, em menor quantidade, utiliza herbicidas, inseticidas, formicidas e inoculantes (Sheehen,1998; Alejos, 2014; Serrão, 2013). E outro é que tendo vista que a produção agrícola de soja é a parte mais impactante na ACV do BMS, essa não foi admitida na fronteira desta ACV, a fim de estudar com maiores detalhes os impactos da parte industrial do processo.

Na etapa de produção do biodiesel metílico de soja, a partir da extração de óleo de soja, para o balanço material foram consideradas óleo de soja, metanol, hidróxido de sódio, óleo combustível e o glicerol produzido, todos esses tendo como base a produção de uma tonelada de BMS. O gráfico 12 apresenta tal balanço, mostrando que o óleo degomado de soja é a matéria prima de maior peso.

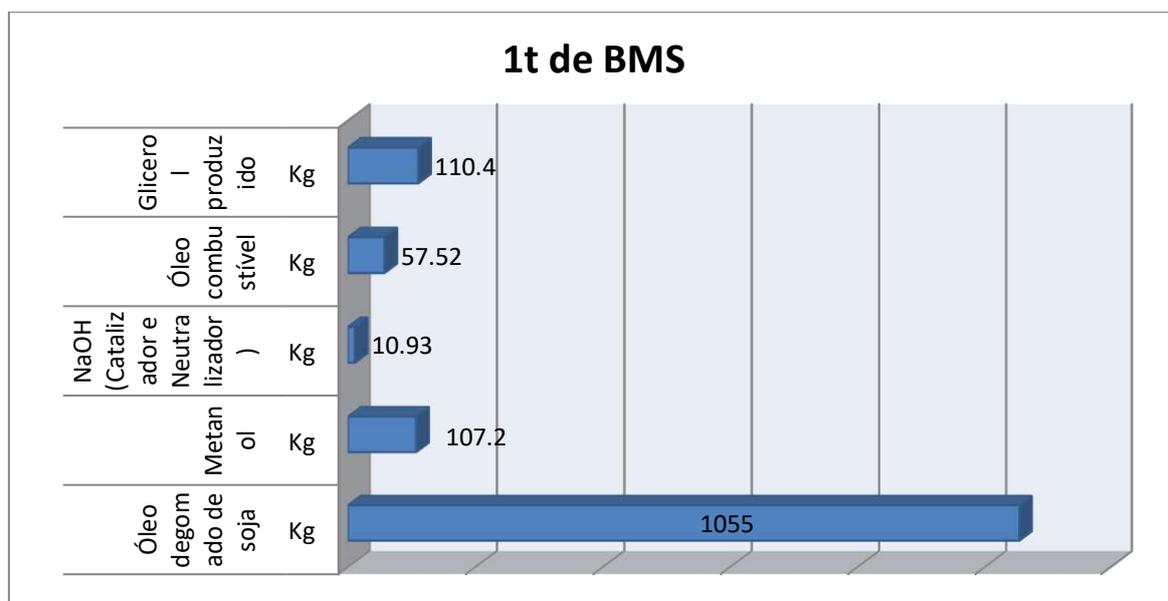


Gráfico 12: Balanço material na etapa de produção de BMS.

Percebe-se que as entradas com maiores relevâncias são as que envolvem a principal matéria prima para a produção do BMS, isto é, o grão de soja e seu óleo. Porém, como nesse estudo o cultivo agrícola foi desconsiderado, destaca-se a utilização de óleo combustível na etapa de extração e a quantidade de metanol na etapa de produção como grandes influentes no sistema. E tendo em vista suas origens fósseis e possíveis malefícios para o ser humano, essas aparecem possíveis causadoras de impactos para os próximos resultados avaliados.

4.2 Indicadores de sustentabilidade

Os principais critérios de sustentabilidade foram compilados na tabela 5. Dentre esses, destaca-se que diversas vezes o “Projeto de Sistemas Holísticos usando o pensamento do Ciclo de Vida” aparece como proposta sustentável. Esse trabalho busca que os indicadores de sustentabilidades abaixo discutidos auxiliem na elaboração da ACV para o biodiesel metílico de soja.

Além desse critério, percebe-se que o processo produtivo estudado acaba por englobar outros. Tais como “prevenir ao invés de tratar resíduos é a melhor estratégia de proteção do ambiente” e “eliminar e minimizar os riscos e poluição”, a “incorporação de todos os materiais utilizados no processo para o produto final, a concepção para satisfazer as necessidades, com a máxima eficiência”, “esforce-se para evitar o desperdício”, “conhecer os impactos ambientais e económicos dos requisitos de energia e minimizá-los”, “uso de matérias primas renováveis”, “evite derivação desnecessária e minimizar a complexidade de produtos”, “conservar e melhorar os ecossistemas naturais, protegendo a saúde humana eo bem-estar; minimizar a complexidade” e por último, mas não menos importante “criar soluções de engenharia além das tecnologias atuais ou dominantes; melhorar, inovar e inventar (tecnologias) para alcançar a sustentabilidade; Ativamente envolver as comunidades e partes interessadas no desenvolvimento de soluções de engenharia”.

Alguns outros critérios serão utilizados nos próximos subcapítulos, tais como “uso e geração de substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade para a saúde humana e para o meio ambiente, mantendo a eficácia do uso” e “certifique-se de que todas as entradas e saídas de materiais e energia são tão intrinsecamente seguros e benignos quanto possível”, pois tratam de critérios voltados a segurança e saúde.

Além disso, o uso da água não será avaliado como um indicador de sustentabilidade nesse estudo, pois o recurso hídrico considerado foi proveniente de recursos naturais da região e após o uso “o simples ajuste do pH ao valor de coagulação pode promover a remoção de até 50% da matéria orgânica presente na água, variando conforme o valor do pH da água residuária bruta”(Guimarães, 2013) o que não causa grande impacto. Dessa forma seguem abaixo os resultados e discussões sobre os indicadores considerados nesse estudo.

4.2.1 Uso de recursos naturais

Esse indicador de sustentabilidade faz menção aos critérios presentes no item dois da tabela, que dizem respeito à “incorporação de todos os materiais utilizados no processo para o

produto final, a concepção para satisfazer as necessidades, com a máxima eficiência”, evitando o desperdício. Mas também ao item cinco, o qual prevê o uso de matérias primas renovável. Dessa forma, os processos que incluam melhorias tecnológicas, buscando diminuir o uso dos recursos naturais podem ser considerados sustentáveis, a partir de tal critério. No caso do biodiesel metílico de soja o uso de recursos naturais totalizou 1273 kg para cada tonelada de biodiesel produzido. Sendo a soja o recurso natural de maior impacto. Por isso, para diminuir o uso da mesma, mantendo ou aumentando a produtividade, estudos na área de engenharia genética vegetal tem buscado aumentar a produtividade de lipídeos na soja, através de estímulos na produção.

4.2.2 Uso de energia total

Os dados anteriores evidenciam que o consumo total de energia foi de 11,8 MJ por Kg de biodiesel produzido por rota metílica. Para um estudo mais detalhado, divide-se o total de energia em renováveis e não renováveis. As renováveis fazem menção a parcela renovável da energia elétrica da rede brasileira, que é cerca de 86% (Alejos, 2014). Já a parcela de energia proveniente de fontes não renováveis remete ao consumo de fontes fósseis, tal como o óleo combustível. Calcula-se que no processo produtivo de BMS considerado somente cerca de 8% da energia utilizada é renovável. Porém outros estudos demonstram que tal consumo apesar de não ser ideal ainda é baixo quando comparado com o biodiesel obtido por rota etílica, por exemplo, possuindo menor dependência de energia fóssil (Alejos, 2014). A utilização de lenha, plantada no local, pode ser uma boa alternativa para a substituição de parte dessa energia fóssil nos casos em que se faz necessário um aumento de temperatura.

Tendo em vista que o poder calorífico do biodiesel metílico de soja é em torno de 40 MJ/Kg (Sheeham, 1998), o que representa a quantidade de energia fornecida pelo biodiesel, à relação de energia se faz unicamente através da energia fóssil consumida. Calculou-se que a quantidade de energia fornecida por unidade de energia fóssil utilizada é cerca de 3,41, sendo mais eficiente em termos de consumo energético do que outras (Sheeham, 1998).

4.2.3 Outros

Existem alguns outros indicadores de sustentabilidade, a maioria deles será discutida nos próximos itens, pois foram utilizados como base no programa, como por exemplo a emissão de gases poluentes. Mas também é importante ressaltar indicadores que não aparecem explicitamente nos gráficos resultantes, e por isso foram calculados. A quantidade de efluentes líquidos, que considera a quantidade gerada pelas unidades produtivas, significando o potencial

de geração e não a quantidade de efluente final descartado. Quantitativamente representando 1,44m³/t. Outro é a geração de efluentes sólidos, é análogo ao anterior e quantitativamente alcançou cerca de 148,96 Kg/t de biodiesel produzido, sendo isso o potencial de geração, sem qualquer tratamento prévio.

Esses resíduos são, basicamente, constituídos pelas impurezas eliminadas já no peneiramento da pré-limpeza, mas também nas etapas subsequentes, as quais liberam as cascas, fibras e farelos. Porém na indústria esses não são avaliados como resíduos descartáveis, pois todos são aproveitados em outros processos. Como é o caso do farelo, que por apresentar grande teor de proteínas, composição balanceada de aminoácidos e vitaminas é excelente alimento para todas as classes de animais (quando tratado), sem nenhuma restrição no seu uso. Tão relevante é sua significância para o mercado alimentício que esses farelos são classificados e diversos tipos de acordo com suas finalidades de uso e propriedades.

4.3 Avaliação de Impacto e Interpretação

Este capítulo refere-se à correlação das cargas ambientais do inventário realizado, com as diferentes categorias de impactos selecionadas. A uma ou mais categorias podem ser relacionados os dados de inventário. Além dessa classificação, também foi envolvida a agregação das cargas ambientais dentro de cada categoria de impacto e sua conversão para unidades comuns, ou seja, os indicadores de categoria, obtendo como resultado um índice numérico por categoria. Este passo é realizado mediante ao uso de fatores de caracterização. E depois utilizou-se um elemento opcional, que é a normalização, como uma importante etapa, uma vez que fornece uma unidade comum, permitindo a comparação entre distintas categorias de impacto de maneira uniforme. A ponderação (fatores de ponderação) foi realizada para cada categoria de impacto, destacando sua importância frente aos demais, estabelecido através da vivência experiencial e de estudos anteriores (Bare; Glória; Norris, 2006).

4.3.1 Quantificações

Para a produção de uma tonelada de biodiesel pela rota metálica, tendo o óleo de soja como matéria prima, estimou-se;

- ✓ Produtividade de grãos de soja: 5927Kg
- ✓ Porcentagem de óleo contido no grão de soja: 19%
- ✓ Produtividade teórica do óleo de soja: 1018Kg de óleo de soja

Considerou-se um rendimento em torno de 98,75% e a densidade do biodiesel 880Kg/m³ e a densidade do óleo de soja 919Jg/m³. Segundo Brondani (2014) produtividade teórica de óleo de soja é de 576Kh/há, logo, calcula-se a partir desses resultados que para a produção de cerca de 1018 Kg de soja, é necessário cerca de dois hectares como área de referência. Abaixo a tabela 16 resume os dados utilizados e gerados.

Etapa de extração de óleo de soja		
Entradas	Quantidade	Unidade
Grãos de soja	5927	Kg
Energia elétrica	1661	MJ
Hexano	12,35	Kg
Óleo combustível	192,17	Kg
Gás natural	170,05	Kg
Saídas	Quantidade	Unidade
Óleo de soja bruto	1000	Kg
Farelo de soja	4424	Kg

Etapa de produção do biodiesel		
Entradas	Quantidade	Unidade
Óleo de soja bruto	1000	Kg
Energia elétrica	104	MJ
Metanol	107,2	Kg
Hidróxido de sódio (NaOH)	10,93	Kg
Vapor	743	Kg
Óleo combustível	57,52	Kg
Saídas	Quantidade	Unidade
Bodiesel	1000	Kg
Glicerol	110,4	Kg

Etapa de beneficiamento de Gás Natural		
Entradas	Quantidade	Unidade
Gás natural	1,03	Kg
Energia elétrica	$4,34 \cdot 10^{(-6)}$	GJ
água	$1,97 \cdot 10^{(-2)}$	Kg
Saídas	Quantidade	Unidade
Gás de síntese	723,8	Kg

Etapa de produção de Metanol		
Entradas	Quantidade	Unidade
Gás de síntese	77,6	Kg
Energia elétrica	118,5	MJ
Vapor	182,9	Kg
Saídas	Quantidade	Unidade
Metanol	107,2	Kg

Tabela 16: quantificação das etapas de processo, na fronteira considerada.

4.3.2 Avaliação em relação às diferentes categorias de impacto

O gráfico 13 mostra os resultados obtidos para as etapas de beneficiamento do gás natural, produção de metanol, extração do óleo de soja e produção de biodiesel, através do input dos dados de referencia no programa. Esses resultados com o SimaPro apresentam-se sob forma de caracterização e classificação das diferentes categorias de impacto, para isso o método utilizado ReCiPe Endpoint (E) e ReCiPe Midpoint (E). Para o conjunto de normalização foi empregado o "World ReCiPe E".

Nesse resultado, para avaliação de “endpoint”, percebe-se que o beneficiamento de gás natural quase não impacta quando comparado com outras etapas. Já a produção do metanol, devido ao seu alto consumo de fontes fósseis, acaba por contribuir no esgotamento das fontes fósseis. A etapa da extração do óleo de soja mostrou-se fortemente impactada pela influencia das mudanças climáticas na saúde humana (“climate change human health”). Essa categoria de ponto final, traduz-se na sociedade como ondas de calor que assombram os grandes centros urbanos, as falta de chuvas em certas regiões e o volume muito elevado em outras acarretando desastres, redução na qualidade do ar, aumento da concentração de ozônio, propiciamento de alergias diversas e intensas nos seres humanos, proliferação de insetos e animais nocivos ao homem, além de outras doenças. Isso pode ser ocasionado pelo uso de solvente aromático, que é fortemente carcinogênico, causa efeitos nocivos à saúde humana e também afeta a respiração orgânica. Ou ainda pelo uso da grande quantidade de soja, pelo uso da terra e principalmente pelo fato do processo ser amplamente mecanizado e dependente de combustível fóssil (Brondani, 2014).

Porém a etapa da produção de biodiesel se mostrou a mais impactante, devido à transformação no espaço natural da terra (“natural land transformation”). Os fatores de caracterização do endpoint para uso do solo são determinados pela diferença no número de espécies antes e depois da transformação, e o tempo necessário para restaurar a terra. O efeito de transformação do programa é determinado pelo tipo de terreno natural, que no caso brasileiro é floresta tropical (apesar dessa região do Brasil ser floresta mista), juntamente com a transformação que é proveniente e o tempo de recuperação que refere-se ao tempo necessário para restabelecer o terreno natural (existem mais de quarenta processos de transformação agrícolas no Ecoinvent.). Esse tempo é influenciado pela na riqueza de espécies antes e depois da transformação, o que no caso da etapa de transformação do biodiesel é enorme, pois considera-se que uma parte rica de floresta tropical é retirada para a implementação de uma usina poluidora (Goedkoop, 2013).

Obviamente, existem fatores não disponíveis no programa, como é o caso do Brasil, que impõe que cerca de 20% do terreno deve ser preservado por lei. Fator de grande influencia nessa etapa do processo, pode ter sido o uso de ácido fosfórico, que contribui no impacto do tipo carcinogênico e uso da terra, enquanto que o hidróxido de sódio influencia na respiração inorgânica, acidificação e eutrofização. O metanol, reagente usado em excesso, tem parcela expressiva em carcinogênicos, radiação, ecotoxicidade, acidificação, eutrofização e uso da terra (Brondani, 2014).

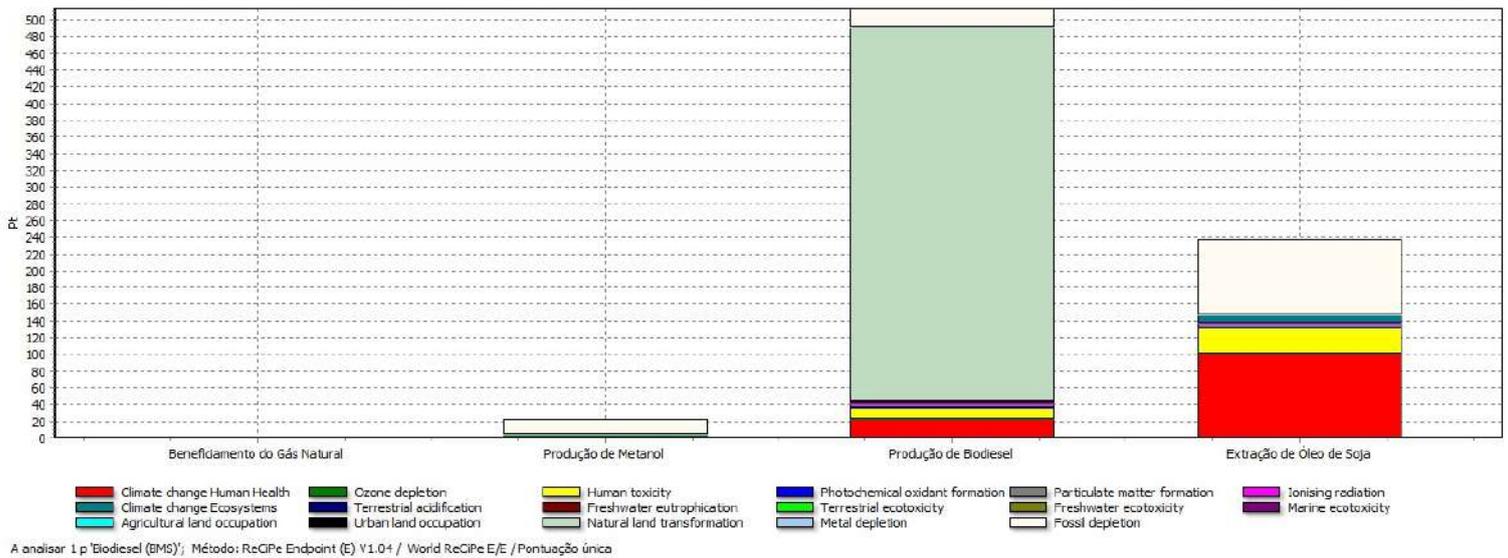


Gráfico 13: Avaliação para produção de uma tonelada de BMS utilizando método ReCiPe Endpoint (E).

Para as categorias intermediárias, o gráfico 14 indica quais as etapas do processo, que influem em cada uma delas. Segundo Tourinho (2014), o eixo vertical apresenta o impacto potencial em porcentagem, estipulando o valor de 100% para a etapa mais impactante em cada uma das categorias, e os valores dos outros componentes da mesma categoria intermediária são apresentados em relação a mais impactante dentro de cada uma das categorias (Tourinho, 2014).

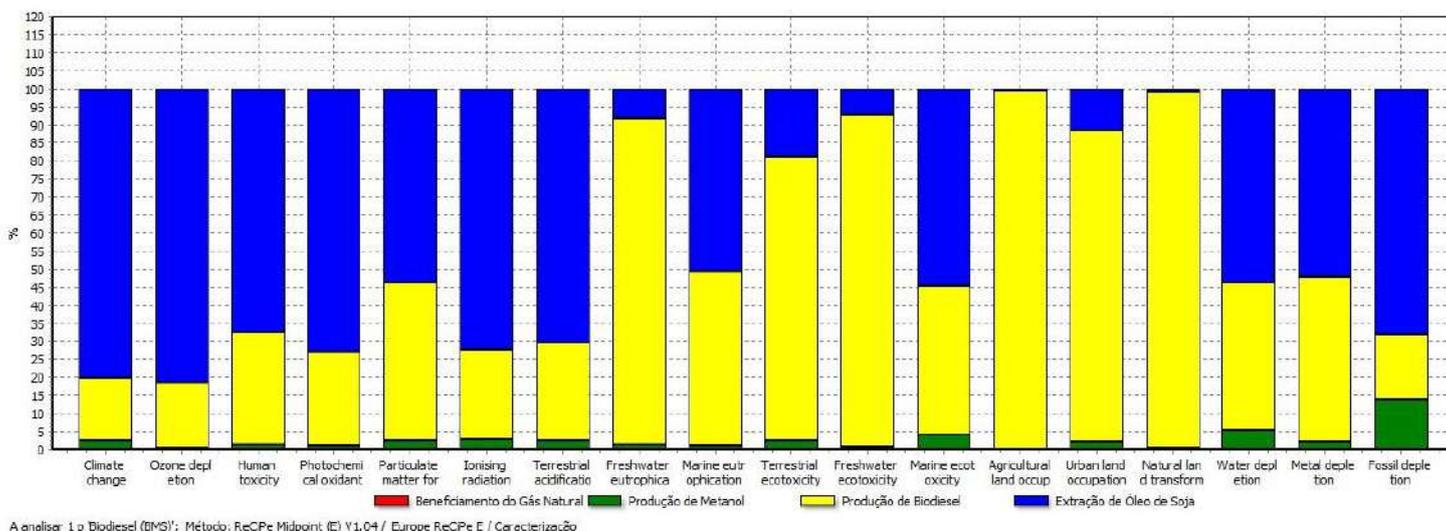


Gráfico 14: Avaliação para produção de uma tonelada de BMS utilizando método ReCiPe Midpoint (E).

Através dessa avaliação fica clara que a etapa de extração influencia de forma significativa as categorias de mudança climática, esgotamento do ozônio, radiação, acidificação e toxicidade humana. Já a etapa de transformação do óleo de soja no biodiesel impacta mais nas categorias de transformação da terra, ocupação de terra agricultável (ou agrícola) e ecotoxicidade. Portanto, torna-se viável a determinação das contribuições percentuais de impacto de cada etapa do processo para cada categoria intermediária. Como foi discutido acima existe uma série de critérios que o programa possui para embasar os cálculos. Os diferentes tipos de uso da terra do Ecoinvent baseiam-se no fato de que 61% de toda a terra é não natural e 39% é terra natural. Porém no nível médio, não há diferenciação quanto os tipos de uso da terra, devido às incertezas. Enquanto a nível endpoint, as incertezas são consideradas e assim uma diferenciação para vários tipos de uso da terra é feita (Goedkoop, 2013). Percebe-se, também, que não houve valores negativos, o que representariam impactos positivos na ACV.

4.3.3 Normalização e ponderação

Com a finalidade de identificar qual etapa contribui de forma mais significativa para o impacto no meio ambiente, realizou-se uma comparação entre as etapas industriais do processo produtivo de BMS. Contudo, a maior parte dos critérios possuem unidades não comparáveis, o que torna essencial realizar a normalização e a ponderação. Os resultados obtidos no item anterior foram relacionados a um valor de referência estabelecido pelo próprio programa e convertidos em novos números dentro da escala de zero a um. Dessa forma, esse novo resultado não possui unidade e a comparação entre os mesmos se dá de forma justa (Norris, 2001). A representação

gráfica da normalizaçãoé apresentada no gráfico 15. Percebe-se, então que as categorias mais impactantes são as de transformação da área natural, depleção de combustíveis fósseis e mudanças climáticas. Dentre essas o processo de extração de óleo de soja é o mais significativo nas categorias de depleção de combustíveis fósseis e mudanças climáticas. Já o processo produtivo do biodiesel a partir desse óleo só se manifesta significativamente na transformação da área natural.

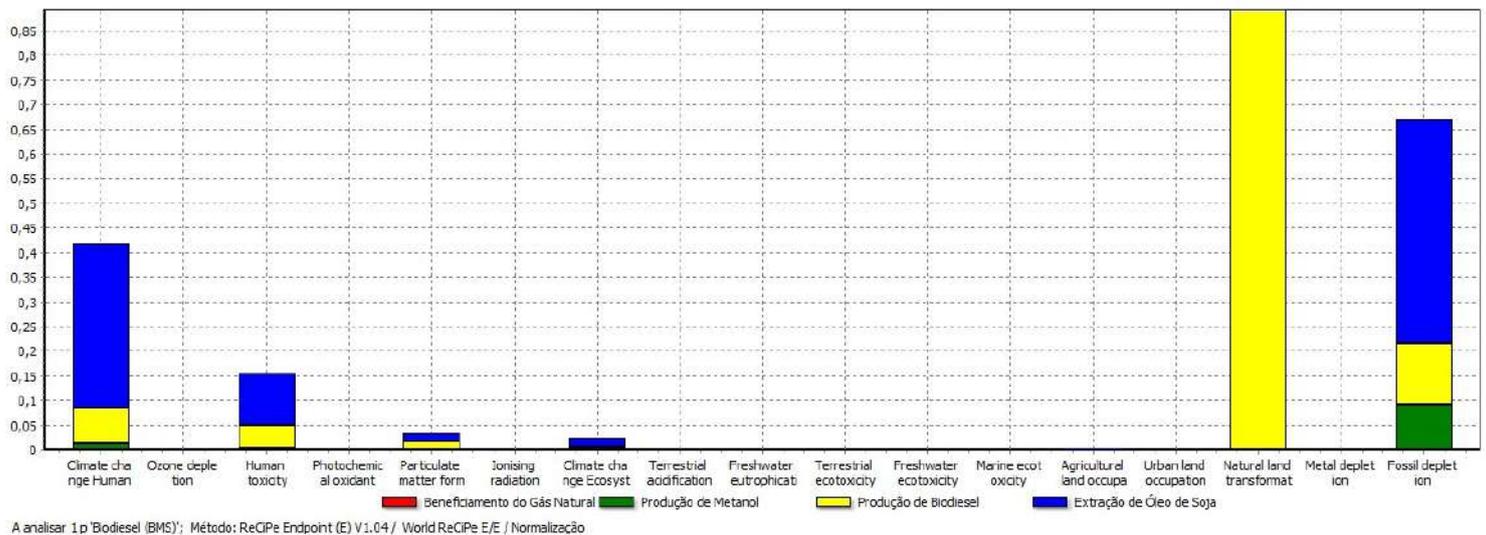


Gráfico 15: Normalização comparativa das etapas nos pontos finais.

Tendo em vista que uma etapa do processo afeta muito uma determinada categoria outra etapa afeta de forma média, mas, porém duas categorias. Realizou-se a ponderação, que consiste na multiplicação dos valores normalizados por valores de ponderação, formulando um novo valor de pontuação única (Tourinho, 2014). Esses novos valores obtidos, possuem suas devidas proporções dentro do sistema de produto e facilitam a comparação entre as diferentes etapas do processo. Os Valores de normalização e ponderação adotados fazem parte do método de AICV ReCiPe Endpoint (E) versão 1.04 / World ReCiPe E/E. O gráfico 16 apresenta o resultado desses valores nos pontos finais.

Figura 11: Diagrama de Sankey da ACV do sistema produtivo de BMS.

4.4 Matriz de integração entre Sustentabilidade e Segurança

A avaliação de ciclo de vida permitiu investigar de forma detalhada os impactos ambientais que o processo produtivo do biodiesel metílico de soja apresenta. Porém tal ferramenta dispõe de um critério de pontuação única que não prioriza o ser humano. Os valores de normalização e ponderação adotados pelo método de avaliação de impacto de ciclo de vida ReCiPe Endpoint (E) são cinco para os danos causados à diversidade do ecossistema, dois aos danos causados à disponibilidade de seus recursos e somente três aos danos causados à saúde humana (Goedkoop, 2013).

Porém como foi discutido nos itens anteriores as questões humanas são tão relevantes quanto, tendo em vista as Diretivas Europeias e os critérios de sustentabilidade. Por isso, a tabela 17 apresenta uma interface entre critérios de sustentabilidade e segurança, como uma forma inovadora de avaliar holisticamente os impactos do processo e auxiliar na tomada de decisão.

Etapa do processo	n. trabalhadores	Critérios de Sustentabilidade														Critérios de Segurança e Saúde				FS	%
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Físicos	Químicos	Biológicos	Acidentes		
Beneficiamento de Gás Natural	15	3	1	3	3	9	1	1	1	3	1	1	1	0	3	3	3	0	3	600	13
Produção de Metanol	20	1	0	9	3	9	1	0	3	3	1	1	0	1	3	3	9	0	3	1000	22
Esmagamento	35	1	1	3	1	1	1	0	9	9	3	1	1	1	3	3	3	0	3	1540	35
Produção de biodiesel	25	0	1	3	9	3	1	3	9	9	1	1	0	3	3	1	3	0	1	1275	28
FH		85	80	240	310	250	80	90	600	630	160	80	55	115	240	190	240	0	190	4635	100
%		2	2	7	9	7	2	2,5	17	17	4	2	2	3	7	5	7	0	5	3635	100

Tabela 17: Matriz que integra sustentabilidade e saúde.

Na elaboração dessa matriz foram utilizados os critérios ponderais de “1” para bom desempenho, “3” médio desempenho, “9” para um desempenho ruim e “0” para performances desconhecidas. O número de trabalhadores e pontuações de cada etapa foi estipulado mediante atividade experiencial (visitas técnicas nos locais de produção de biodiesel e esmagamento),

devido à falta de dados na literatura que permitissem constatar detalhadamente cada necessidade. Os critérios de sustentabilidades foram baseados nas compilações da tabela 5. E os critérios de segurança e saúde na tabela do Haddad (2008).

Através da utilização dessa ferramenta é possível perceber que em termos de sustentabilidade juntamente com a saúde e a segurança, a etapa do processo que se destaca por causar maior impacto é a de esmagamento. Os fatores que contribuíram para tal desempenho foram os critérios oito e nove da tabela 5, que dizem respeito ao produto, que não deve persistir no ambiente após a função, durabilidade é almejada, mas não a imortalidade, deve ser um objetivo do projeto, fazendo referência também à conservação dos ecossistemas naturais, protegendo a saúde humana e o bem-estar, além da análise em tempo real para a prevenção da poluição. Tendo em vista que o produto final do esmagamento é o óleo de soja, esse realmente não possui uma boa performance nesses critérios, pois persiste muito mais tempo no ambiente do que o devido, além de contribuir significativamente para a poluição de rios e outros.

Porém o que tornou essa etapa do processo mais impactante não foi somente às ponderações altas nos critérios de sustentabilidade, até mesmo porque, pode-se observar que a etapa de produção de biodiesel também possui tais pontuações. Portanto, o fator decisivo foi o número de trabalhadores estimados nessa etapa. O que torna esse resultado tão atraente, pois além de interagir distintos critérios fornece ao ser humano a devida relevância. Além disso, a ferramenta também consegue identificar que para considerando-se etapas, o critério nove da tabela é o de maior significância. Dessa forma é fácil perceber que existem pontos específicos a serem discutidos e melhorados no processo.

5 Conclusões

Esta monografia apresenta além de uma vasta revisão bibliográfica, a avaliação do ciclo de vida das etapas industriais do processo produtivo do biodiesel obtido via rota metálica e proveniente do óleo de soja. Os resultados obtidos puderam mostrar que, primeiramente, tal área do conhecimento é bem vasta e rica em detalhes, mas precisa de inovação a fim de verdadeiramente mudar paradigmas, para que tais conhecimentos sejam desmembrados em transformações na sociedade.

Além disso, objetivamente pôde-se perceber que dentre tantas categorias de impactos ambientais diferentes, a transformação da área natural foi a mais afetada e a etapa do processo responsável por tal impacto foi a da transformação do óleo de soja em biodiesel. Isso se deve ao

desmatamento aplicado no local de implementação da usina, além do uso de metanol, como matéria prima causadora de danos ambientais.

A etapa do esmagamento, isto é, da extração do óleo de soja, afetou principalmente as categorias de depleção de combustíveis fósseis e mudanças climáticas. É provável que isso tenha ocorrido devido ao uso de combustíveis fósseis e de solvente carcinogênico e causador de grande malefício ao meio ambiente. As outras etapas não se mostraram representativas.

Uma estratégia, a fim de reduzir tais impactos, pode ser o uso de um solvente menos agressivo ou ainda a mistura deles, porém destaca-se que estudos de viabilidade econômicos devem ser realizados.

Porém foi evidenciado que uma ACV não é o suficiente para demonstrar a sustentabilidade de um produto, visto que dentre os critérios mundiais de sustentabilidade, outros fatores além dos ambientais são considerados, tais como a segurança e a saúde. Por isso aplicando-se uma ferramenta interativa, observou-se que a etapa de processo que afeta a sustentabilidade nesses outros pilares é o esmagamento.

A análise indica, então, que diretrizes, planos, programas e projetos devem compor um trabalho sério, a fim de viabilizar a sustentabilidade do biodiesel metílico de soja em seus três pilares, social, ambiental e de segurança.

Como proposta de trabalhos futuros, indicam-se a necessidade de ampliação da fronteira, comparação do estudo com outras rotas (esterificação, esterificação-transesterificação, hidroesterificação e outros), além de integrar tais variáveis com questões sociopolíticas, pois essas têm sido cada vez mais presentes e significativas para as aplicações sustentáveis

6 Bibliografia

Anastas, P.T., and Zimmerman, J.B., Design through the Twelve Principles of Green Engineering, *Env. Sci. and Tech.*, 37, 5, 94A-101A, 2003.

Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, 1998.

Abraham, M.A., Nguyen, N. “Green Engineering: Defining the Principles”- Results from the San Destin Conference”, *Environmental Progress*, 22(4), 233-236, 2003

ABNT NBR ISO 14001:2004, *Sistemas de gestão ambiental - Especificação e diretrizes para uso*, 2004

ABNT NBR ISO 9001:2008, *Sistemas de gestão da Qualidade – Requisitos*, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17000: Avaliação de Conformidade – Vocabulário e princípios gerais. Rio de Janeiro, 2005.

Aguilar, E. (2007) UN head calls for more biofuels research. Science Development Network, 15 November 2007. Available at: <http://www.scidev.net/en/climate-change-and-energy/news/un-head-calls-for-more-biofuels-research.html> (accessed 23 April 2012).

Altamirano, A. A. C.; Análise de ciclo de vida do biodiesel de soja: Uma comparação entre as rotas metélica e etélica. (2014).

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. (Brasil). Dados Estatísticos. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=59236&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1360905921965>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

Amaral, F. D., Kloss, C.E., Requisitos de sustentabilidade no comércio internacional de biocombustíveis: barreiras técnicas ou exigências pertinentes?: Política Internacional, vol. 21, n. 2, 115-132, 2012.

Araújo, F. Q. O., Medeiros, L. J., Yokoyama, L., Morgado, V. R. C.; Sustainability metrics applied to the utilization of CO₂ emissions from power plants in microalgae biorefineries, 2014.

BAKER III Institute for Public Policy, JAMES A.; RICE University. (EUA) Fundamentals of a Sustainable U.S. Biofuels Policy. Jan., 2010.

Bell, A. G. (1917) Prizes for the inventor: some of the problems awaiting solution. National Geographic, February 1917, pp. 131.

Bente, P. (1984) International Bio-Energy Handbook. The Bio-Energy Council, Washington, D.C.

Boletim Enfoque (2000) Em 1927, O primeiro grande empreendimento brasileiro em álcool combustível. Adone Vamous, Boletim Enfoque, June 2000, No. 7. Sao Paulo, Brazil.

Brown, L. (2011) The new geopolitics of food. Foreign Policy, April-May, 2011.

CCPS, Risk Based Process Safety. Center for Chemical Process Safety, Wiley, New York. 2007. <http://www.aiche.org/ccps/resources/publications/books/guidelines-risk-based-process-safety>

CCPS Center for Chemical Process Safety, Continuously Improving PSM Effectiveness—A Practical Roadmap, New York, 2006.

CCPS, Guidelines for implementing process safety management systems, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1994.

CCPS, Project 0606— process safety web community, American Institute of Chemical Engineers, Center for Chemical Process Safety, New York, 2006b.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae, Biotechnology Advances 25, p. 294-306, 2007.

Diniz, A., Almeida, C. C. A., França, O.R.R.S., Desenvolvimento de programa de segurança de processo: um caso de sucesso entre a Braskem e a DNV: 13 Congresso de Atuação Responsável, Anhembi, 2010.

- DENARDIN V.F.;VINTER,G. Algumas considerações acerca dos benefícios econômicos, sociais e ambientais advindos da obtenção da Certificação ISO 14000 pelas Empresas. Disponível em: <<http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/comu1/4.doc> >. EC. EUROPEAN COMMISSION. MEMO/11/522 - Memo: Certification schemes for biofuels. 19 jul. 2011. Disponível em: <http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-522_en.htm?locale=en>.
- Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009 , relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Jornal Oficial da União Européia Disponível em: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:PT:PDF>>.
- Diretiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Maio de 2003. Jornal Oficial da União Européia. Disponível em:<<http://www.ebheu.org/legis/OJ%20promotion%20POR.pdf> >.
- EIA. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. (U.S.A.) – Total Energy. Disponível em: <<http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/#renewable>>. Acesso em: 2012a. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Janeiro 2011 - Dezembro 2011. EPE, 21 mai. 2012.
- Environmental Working Group (2004). Like Oil and Water: MTBE Contamination By State, Environmental Working Group paper. Available at: <http://www.ewg.org/node/19752> (accessed 23 April 2012).
- Ferrett, G. (2007) Biofuels: crime against humanity. BBC News., 27 October 2007.
- Freddman, B.; Butterfield, R. O.; Pryde, E.H.; J. Am. Oil Chem. Soc. 1986, 63, 1598.
- Geris, R., Santos, N. A. C. S., Amaral, B. A., Maia, I. S., Castro, V. D. e Carvalho, J. R. M.; Quim. Nova 2007, Vol. 30, No. 5, 1369-1373.
- HADDAD, A.N., MORGADO, C. V., & DE SOUZA, D. I. Health, Safety and Environmental Management Risk Evaluation Strategy: Hazard Matrix Application Case Studies, Proceedings of the 2008 IEEE IEEM, ISBN 978-1-4244-2630-0, 2008.
- Jiménez-González, C., Constable, D.J.C., Green Chemistry and Engineering: A Practical Design Approach, Wiley, 2011.
- Kleiner, K. (2007) The Backlash Against Biofuels. Nature Climate Change Available at: <http://www.nature.com/climate/2008/0801/full/climate.2007.71.html> (accessed 23 April 2012).
- Knothe, G. (2001) Historical perspectives on vegetable oil-based diesel fuel. Inform 12,1103–1107.
- Kovarik, B. (1998) Henry Ford, Charles Kettering and the fuel of the Future. Journal of the Society of Automotive Historians. [s5] Available at: <http://www.radford.edu/~wkovarik/papers/fuel.html> (accessed 23 March 2012).
- Kovarik, B. (2006a) Ethanol's first century: Fuel blending and substitution programs in Europe, Asia, Africa and Latin America. In: XVI International Symposium on Alcohol Fuels. Rio de Janeiro, Brazil, 2006.[s6]

- Khan, F., Hassan, J., Risk-based asset integrity indicators: *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 544-554, 2012.
- London Times (1902) The Kaiser's new scheme. Reprinted from *New York Times*, 24 April 1902, pp. 9.
- MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, 32 (2008) p.582-595.
- MACHADO, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). *Biomass and Bioenergy*, v. 14, n.1, p.77-81, 1998.
- Ma, F.; Hanna, M. A.; *Bioresour. Technol.* 1999, 70, 1.
- Meher, L. C.; Sagar, D. V.; Naik, S. N.; *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2004, 10, 248.
- Modi, M. K.; Reddy, J. R. C.; Rao, B. V. S. K.; Prasad, R. B. N.; *Biotechnol. Lett.* 2006, 28, 637.
- New York Times* (1931) Brazil seeks to cut gasoline payments. *New York Times*, 11 January 1931, pp. 60.
- New York Times* (1938) Ford predicts new era of prosperity. *New York Times*, 4 June 1938, pp. 2.
- OSHA, Code of Federal Regulations. Title 29, Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, Occupational Safety and Health Administration, 2012. [8]DNV, Process safety improvement—Quality and target zero, Det Norske Veritas, Houston, 2008.
- OHSAS 18001:2007, Sistemas de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional - Requisitos.
- Pinto, A. C.; Guarieiro, L. L. N.; Rezende, M. J. C.; Ribeiro, N. M.; Torres, E. A.; Lopes, W. A.; Pereira, P. A. P.; de Andrade, J. B.; *J. Braz. Chem. Soc.* 2005, 16, 1313.
- Renewable Fuels Association (2012) US Ethanol Industry Overview. Renewable Fuels Association. Available at: <http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics> (accessed 23 March 2012).
- Ricardo, H.R. (1921) The Influence of various fuels on engine performance. *Automobile Engineer*, February, 1921.
- Silva, M.R., Belderrain, N.C.M, CI, Considerações sobre Métodos de Decisão Multicritério: Instituto da Aeronáutica/ Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, 2001.
- Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior, denominado AliceWeb, da Secretaria de Comércio Exterior, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. <http://aliceweb2.mdic.gov.br/>
- SARAIVA, L. Balanço social e a Responsabilidade social no Brasil, (2008). Disponível em:<<http://www.socialtec.org.br>>.
- Sampaio, S.M.C., Avaliação do setor sucroalcooleiro brasileiro quanto ao atendimento a requisitos de sustentabilidade da produção de etanol combustível: Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, 2013.

- SEARCHINGER T. et al. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* vol.319, p.1238-1240, 2008.
- Salameh, M.G. (2004) Oil crises, historical perspective. In: Cleveland, C.J. (ed.) *Encyclopedia of Energy*. Elsevier Academic Press, Boston, Massachusetts, USA.
- Scientific American (1918) Seaweed as a source of alcohol. *Scientific American* ,9 November 1918, pp. 371.
- Scientific American (1919) The declining supply of motor fuel. *Scientific American*, 8 March 1919, pp. 220.
- Scientific American (1920) Recent patents on mixed fuels. *Scientific American*,11 December 1920, pp. 593.
- Starbuck, A. (1878) *History of the American Whale Fishery from its Earliest Inception to the Year 1876*. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Schuchardt, U.; Sercheli, R.; Vargas, R. M.; *J. Braz. Chem. Soc.* 1998, 9, 199.
- Tan, T. W.; Nie, K. L.; Wang, F.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2006, 128, 109.
- Time (1940) Recipe for fuel. *Time Magazine*, 23 September 1940.
- Tourinho, O. C T.; *Avaliação comparativa de ciclo de vida de processo de tratamento de efluente doméstico*, 2014.
- UNICA, APEX. Sugarcane.org. *Brazilian Energy Matrix in 2010*. Disponível em:< <http://sugarcane.org/the-brazilian-experience/brazils-diverse-energy-matrix>>.
- U.S. Congress (1897) *Report of the Joint Select Committee on Alcohol in the Manufactures and Arts*. US Government Printing Office, Washington, D.C..
- Wall Street Journal (1923) Teagle states gasoline is 36 cents in Havana. *Wall Street Journal*, 15 March 1923.
- Welsbach Gas Co. (1909) *History of Light*. Welsbach Publishing[s9] ,, Philadelphia, Pennsylvania, USA. Available at: Smithsonian collection of Advertising, Museum of American History, Washington, D.C.
- Wescott, N. P. (1936) *Origins and Early History of the Tetraethyl Lead Business*. Du Pont Corp. Report No. D-1013, Longwood ms group 10, Series A, 418-426, GM Anti-Trust Suit. Hagley Museum & Library, Wilmington, Delaware, USA.
- WORLDWATCH INSTITUTE. *U.S. Biofuels: Climate Change and Policies*. Worldwatch Issue Brief. Jul. 2009. Washington D.C. USA. Disponível em:<<https://www.worldwatch.org/files/pdf/Biofuels%2520Issue%2520Brief.pdf>>.

Apêndice I

