

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THALITA PALANEDI

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE
DENDÊ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2017

THALITA PALANEDI

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE
DENDÊ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli

LONDRINA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Avaliação do ciclo de vida na produção de biodiesel de

dendê

por

Thalita Palanedi

Monografia apresentada no dia 13 de junho de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. MsC. Marco Antônio Ferreira
(UTFPR)

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira
(UTFPR)

Profa. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Sandra e Wanderlei por toda a dedicação, incentivo e confiança depositada em mim não só durante o período de graduação como em toda minha vida, ao meu irmão Wandré e todos os familiares que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao professor Aulus pela orientação, disponibilização de materiais e ferramentas para que este trabalho de conclusão fosse possível, sempre de forma atenciosa.

Aos amigos Bianca, Dioni, Fabio, Fran, Isa, Ju e Luiz por me acolherem nesse grupo e juntos formarmos uma segunda família, por estarem presentes não só nos momentos bons como nos ruins. Pela honestidade sem “papas na língua”, pelas confusões e zoeiras sem limites, pelas noites em claro estudando e obviamente por todas as baladas loucas. Gratidão por ter conhecido vocês e saber que mesmo com personalidades distintas nós compartilhamos do mesmo sentimento.

Aos meus amigos João Vitor e Luisa que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial. Gi e Isa, em momentos distintos, que não me deixaram esquecer que eu tinha uma vida social (mesmo que isso me custasse algumas horas de sono).

Aos mestres do Muay Thai que contribuiriam com a filosofia e ensinamento desse esporte, que muitas vezes funcionou como “socoterapia” em momentos de estresse.

RESUMO

PALANEDI, THALITA. **Avaliação do ciclo de vida na produção de biodiesel de dendê**. 2017.61f. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2. – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. Londrina, 2017.

Este trabalho tem como objetivo comparar o uso energético e as emissões gasosas proveniente da produção de biodiesel de dendê através das rotas metílica e etílica. Para isso utilizou a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, que é uma ferramenta de gestão que permite a identificação e determinação dos impactos causados por um processo ou um produto desde a aquisição de matéria-prima até a destinação final do produto (análise “do berço ao túmulo”). Nesse sentido, o ciclo de vida do biodiesel a partir de óleo de dendê se iniciou com a atividade agrícola e encerrou com a etapa de distribuição do biocombustível. O processo incluiu as etapas produção, transporte, refino e distribuição do biodiesel com base nas condições em que ele é comercializado no território nacional (mistura de 8% de biodiesel para 92% de diesel). A escolha da matéria prima foi o dendê por apresentar grande vantagem em termos de rendimento de óleo em toneladas por hectare quando comparadas a outras culturas oleaginosas e por ser capaz de se desenvolver em solos de baixa fertilidade. Fatores de renovabilidade e eficiência energética mostraram que a mistura de 8% de biodiesel/diesel do biocombustível não pode ser considerado uma medida de minimização de impacto ambiental, pois não atingiram os requisitos mínimos (FER e $NER > 1$). O biodiesel puro (B100) atendeu a exigência da renovabilidade (FER) do combustível, mas não atendeu no quesito eficiência (NER), sendo portanto necessárias algumas modificações no processo para garantir a viabilidade energética do mesmo. O presente trabalho concluiu que é necessário mais detalhamento de dados e que o setor de transporte é o maior causador de impacto ambiental negativo durante todo o ciclo de vida desse produto.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida; Biocombustíveis; Biodiesel; Dendê; Energia Renovável.

ABSTRACT

This work aims to compare the energy use and the gaseous emissions from the production of palm oil biodiesel through the methyl and ethyl routes. For this purpose, it used the Life Cycle Assessment (LCA), which is a management tool that allows the identification and determination of the impacts caused by a process or a product from the acquisition of raw material to the final destination of the product (analysis of the "Cradle-to-grave "). In this sense, the life cycle of biodiesel from palm oil began with agricultural activity and ended with the stage of biofuel distribution. The process included the production, transportation, refining and distribution stages of biodiesel based on the conditions under which biodiesel is marketed in Brazil (a mixture of 8% biodiesel and 92% diesel). The choice of the raw material was the oil palm because it presents great advantage in terms of oil yield in tons per hectare when compared to other oil crops and because it is able to develop in low fertility soils. Renewability and energy efficiency factors have shown that the B8 blend of biofuel cannot be considered a measure of environmental impact minimization because it did not meet the minimum requirements (FER and $NER > 1$). Pure biodiesel (B100) met the fuel renewal requirement, but it was left to be desired in terms of efficiency, so some modifications to the process are necessary to ensure its energy viability. The present study concluded that more detailed data is needed and that the transportation sector is the major negative environmental impact during the whole life cycle of this product.

Keywords: Life Cycle Assessment; Biofuels; Biodiesel; Palm; Renewable Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética brasileira.....	13
Figura 2 – Panorama da emissão de CO ₂ proveniente de combustíveis fósseis.....	14
Figura 3 – Dendê.....	17
Figura 4 – Etapas da extração do óleo	18
Figura 5 – Reação de transesterificação	18
Figura 6 – Fases de uma ACV	21
Figura 7 – Esboço da análise	23
Figura 8 – Exemplo de um sistema de produto	28
Figura 9 – Sistema de produto do Biodiesel.....	29
Figura 10 – Esboço do trajeto de colheita	32
Figura 11 – Beneficiamento do dendê.....	33
Figura 12 – Representação geográfica das bases de distribuição	35
Figura 13 – Emissões de Dióxido de Carbono (CO ₂)	41
Figura 14 – Emissões de Metano (CH ₄).....	42
Figura 15 – Emissões de Metano (CH ₄) por atividade.....	42
Figura 16 – Emissões de Dióxido de Nitrogênio (N ₂ O).....	43
Figura 17 – Emissões de Dióxido de Nitrogênio (N ₂ O) por atividade	43
Figura 18 – Visão geral das emissões de poluentes	44
Figura 19 – Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis.....	45
Figura 20 – Emissões de Monóxido de Carbono (CO)	45
Figura 21 – Emissões de Óxidos de Enxofre (SO _x)	46
Figura 22 – Emissões de Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	46
Figura 23 – Emissões de Materiais Particulados (MP10 e MP2.5).....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de algumas matérias-primas vegetais para a produção de biodiesel	15
Tabela 2 – Produtos e dosagens de fertilizantes para a cultura de dendê.....	30
Tabela 3 – Distribuição de combustíveis para a região Norte	36
Tabela 4 – Resultados de FER e NER para biodiesel puro (B100)	40
Tabela 5 – Resultados de FER e NER para a mistura de 8% de biodiesel (B8).....	40
Tabela 6 – Resultados de FER e NER para a mistura de 65% de biodiesel (B65)...	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Brasil e a questão energética	13
3.2 Produção de biodiesel	15
3.2.1 Extração do Óleo.....	17
3.2.2 Processo de Transesterificação	18
3.3 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)	19
3.3.1 Histórico da ACV	19
3.3.2 Metodologia da ACV	20
3.4 Ciclo de vida do biodiesel	22
3.5 Aspectos ambientais.....	23
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 Software GREET	26
4.2 Execução da ACV.....	27
4.2.1 Definição de objetivo e escopo	27
4.2.2 Sistema de produto	28
4.2.3 Análise de inventário	30
4.2.3.1 Atividade agrícola	30
4.2.3.2 Transporte para a indústria.....	31
4.2.3.3 Extração do óleo.....	32
4.2.3.4 Transesterificação	33
4.2.3.5 Transporte para a refinaria e mistura.....	34

SUMÁRIO

4.2.3.6 Distribuição do combustível.....	34
4.2.4 Avaliação de Impacto	36
5 RESULTADOS (INTERPRETAÇÃO)	39
5.1 Renovabilidade do combustível	39
5.2 Emissões de gases de efeito estufa	40
5.3 Emissões de gases poluentes	44
5.4 Comparação com outros trabalhos realizados.....	47
6 CONCLUSÃO.....	50
Sugestão de estudos futuros.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
Anexos	59

1 INTRODUÇÃO

É fato que o uso de combustíveis está atrelado ao cotidiano das pessoas, sendo que a matriz energética tanto no Brasil quanto no mundo é composta predominantemente de combustíveis fósseis. Para atender a demanda de insumos, que aumenta cada vez mais devido ao crescimento populacional, faz-se necessário a busca de formas alternativas de energia, como por exemplo, o uso da biomassa para a produção de biocombustíveis (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2007).

A busca por fontes de energia está relacionada a um modo de desenvolvimento que deve ser modificado por um modelo definido como sustentável. O desenvolvimento sustentável é um termo, definido pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente, criada pela ONU em 1987, que significa: “Atender as necessidades da geração presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades” (BRAGA, 2005). Nesse sentido, energia sustentável é aquela que se sustenta em equilíbrio entre o ciclo de consumo e produção, ou seja, a energia é gasta em quantidade e velocidade inferiores as que o meio ambiente é capaz de repor. A energia renovável por sua vez, é aquela desenvolvida a partir de recursos naturais que se renovam ou são renovados, diferentes da energia fóssil que requer milhões de anos para se recompor (PORTAL ENERGIA, 2015).

Segundo o MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME (2016), o biodiesel é um recurso renovável, derivado de óleo vegetal ou gordura animal, que pode substituir o óleo diesel de petróleo ou ser incorporado a ele sem que os veículos precisem de alguma adaptação, sua combustão emite uma concentração menor de gases liberados ao meio ambiente comparado ao uso exclusivo de combustíveis fósseis, e o carbono liberado na reação pode ser capturado pelas plantas oleaginosas durante seu crescimento. O Ministério ainda aponta o Brasil, juntamente com os Estados Unidos e a Alemanha, como um dos maiores produtores de biodiesel do mundo. A Argentina também se destaca, por ser um país grande produtor de plantas oleaginosas. De acordo com o MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (2003), o território brasileiro possui uma

grande vantagem no cenário mundial para a produção do dendê, pois possui uma grande extensão de terra disponível e em condições favoráveis de clima e solo para o seu cultivo, mas apenas um pouco mais da metade dessa área em potencial é utilizada para a cultura.

De acordo com MULLER (1980) o óleo de dendê, além de possuir grande potencial para a produção do biodiesel, dispõe de outras aplicações, tais como no ramo alimentício, na fabricação de sabão e detergentes, em indústrias de vela, graxas e lubrificantes e cosméticos. Quanto ao fator ambiental, o cultivo do dendê assim como o de outras oleaginosas é capaz de realizar o “sequestro de carbono” reduzindo os níveis de CO₂ na atmosfera. De acordo com SOUZA (2000), os dendezeiros podem contribuir para a captura de aproximadamente 30 t de carbono/ha/ano, além de viabilizar a recomposição florestal em processo de degradação.

Dentro do conceito de sustentabilidade, o biodiesel é mais vantajoso quando comparados a outras fontes. No entanto, há relatos de afirmações negativas quanto ao uso em larga escala do óleo de dendê como biocombustível por causar possível desmatamento, devido à mudança de uso da terra, causando dúvidas a respeito da viabilidade de substituição do combustível convencional. Deste modo, é importante uma abordagem sistêmica para investigar todos os processos a montante e a jusante do processo produtivo para avaliar tais vantagens, sem que se beneficie uma área prejudicando outra, mantendo o equilíbrio base do desenvolvimento sustentável (YEE, TAN, *et al.*, 2009).

Nesse sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida - ACV é uma ferramenta capaz de mensurar quantitativamente se existe essa compensação entre os gases emitidos e recapturados ao longo do processo produtivo, pois avaliará todas as entradas e saídas dos fluxos de matéria e energia envolvidos na produção do biodiesel. Além disso, é possível relacionar diferentes categorias de impacto ambiental para identificar os pontos críticos ao longo da cadeia (IBICT, 2016)

A realização de uma ACV é normatizada, no Brasil, pela ABNT NBR ISO 14040, que define a sua estrutura, dividindo-a em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e a interpretação dos

resultados. Segundo GIANNETTI e ALMEIDA (2006), a ACV é uma análise complexa e multivariável e por isso deve seguir a estrutura formal para a execução.

Portanto o principal objetivo deste trabalho é realizar a avaliação do ciclo de vida do biodiesel oriundo do dendê por duas rotas: etílica e metílica. A ACV irá permitir quantificar o uso energético do produto, calcular a emissão de gases de efeito estufa e gases considerados poluentes atmosféricos em todo o processo de produção, desde a obtenção da matéria-prima até a distribuição do biocombustível. Dessa forma, é possível gerar informações que possam fomentar o uso de biocombustíveis para promover o desenvolvimento sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a avaliação do ciclo de vida do biodiesel oriundo dos cachos de dendê pelas rotas de transesterificação via etílica e metílica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Quantificar o uso energético do produto puro (B100) e da mistura de 8% (B8) do biodiesel.

Calcular as emissões gasosas em todo o processo de produção e distribuição do biocombustível.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

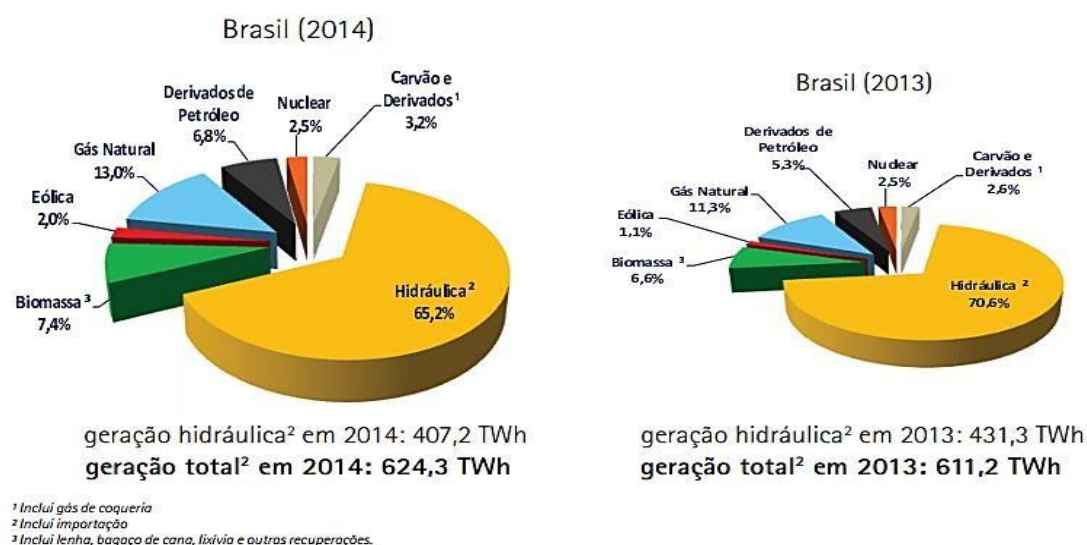
3.1 BRASIL E A QUESTÃO ENERGÉTICA

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2015 – BEN, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o aumento na demanda de energia no Brasil foi de 3,1%, sendo que 80% deste acréscimo estão relacionados à energia térmica, que teve seu uso intensificado devido à redução da disponibilidade de energia hidrelétrica, ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Matriz energética brasileira

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015 | Relatório Síntese | ano base 2014

Matriz Elétrica Brasileira



EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE | MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

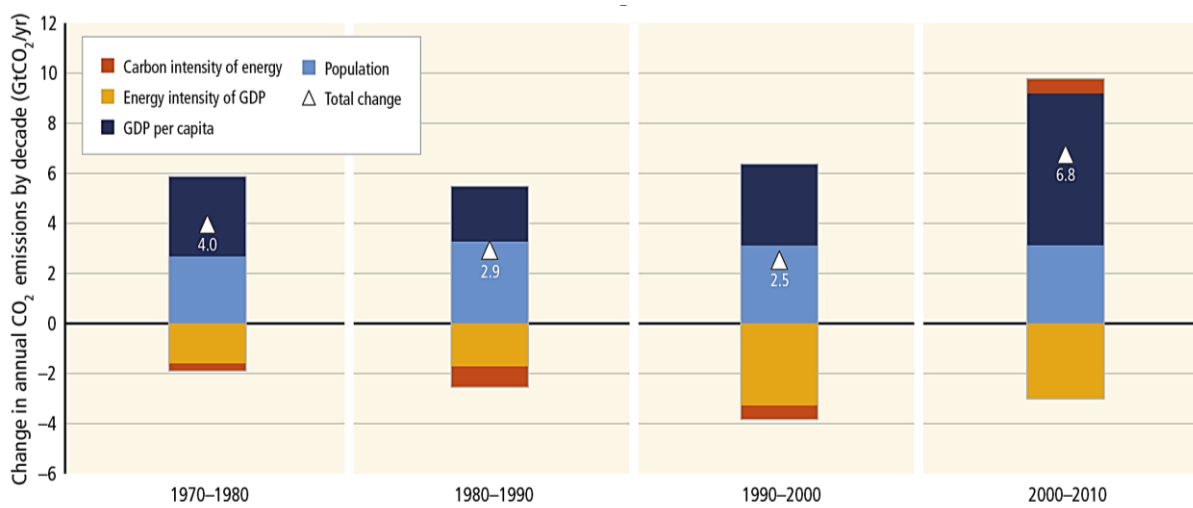
Fonte: BEN (2015, p.35)

No que diz respeito ao setor de transporte, o relatório mostra que o consumo de energia vem aumentando significativamente há três anos consecutivos, e destaca também o aumento da produção e do consumo do etanol desde 2013, diferente de 2012, ano em que a gasolina estava no auge (EPE, 2015).

A combustão dos combustíveis fósseis produz energia para movimentar os veículos, mas libera calor em forma de Gases de Efeito Estufa (GEE), principais responsáveis pela poluição do ar e aquecimento global. Conforme o relatório do

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change de 2014, na última década a taxa de emissão de dióxido de carbono (CO₂) proveniente desses combustíveis passou de 2,5 para 6,8 GtCO₂/ano (Figura 2).

Figura 2 – Panorama da emissão de CO₂ proveniente de combustíveis fósseis



Fonte: IPCC (2014, p.47).

No Brasil, para a comercialização deste produto, a Lei nº 13.263/2016, obriga que o percentual de adição de biodiesel ao diesel seja de 8% (B8) e que em três anos a obrigatoriedade passe a ser de 10% (B10). O uso facultativo de biodiesel com o percentual de mistura acima do mandatório é de caráter autorizativo e o limite máximo da adição, em volume, é dado pela Resolução nº 3 do CNPE (Conselho Nacional de Política Energética) de 2015 para as seguintes atividades: “I) 20% (B20) em frotas cativas ou consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento; II) 30% (B30) no transporte ferroviário; III) 30% (B30) no uso agrícola e industrial; IV) 100% (B100) no uso experimental, específico ou em demais aplicações.”

Quanto à sua produtividade, a soja é o recurso mais utilizado para a produção de biocombustível. No entanto, o dendzeiro apresenta maior potencial para produzir óleo, são cerca de 6 toneladas de dendê/ha/ano contra 600 kg de soja/ha/ano. Essa discrepância deve-se ao fato de que a colheita do dendê ser feita quinzenalmente durante o ano inteiro enquanto que a colheita de soja se restringe aos meses de janeiro a abril. Pensando nisso, o governo federal criou o Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil, que incentiva o plantio do dendê em bases sustentáveis (IBICT, 2016).

3.2 PRODUÇÃO DE BODIESEL

O biodiesel é um biocombustível cuja matéria-prima pode ser vegetal (plantas oleaginosas), animal (gorduras), ou até residual (óleo de cozinha). O óleo extraído dessas plantas ou o “sebo” em conjunto com um álcool passa pelo processo de transesterificação, na presença de um catalisador são convertidos a ésteres (produto) e a glicerina (subproduto). De acordo com a Lei nº 11.097/2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, o biodiesel é um “combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”.

A Tabela 1 mostra algumas características dos vegetais capazes de produzir o biodiesel (BODIESELBR, 2006).

Tabela 1 – Características de algumas matérias-primas vegetais para a produção de biodiesel

Espécie	Conteúdo do óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em óleo (t/ha)
Dendê/Palma	26	12	3 – 6
Babaçu	66	12	0,4 – 0,8
Girassol	38 – 48	3	0,5 – 1,5
Colza	40 – 48	3	0,5 – 0,9
Mamona	43 – 45	3	0,5 – 1
Amendoim	40 – 50	3	0,6 – 0,8
Soja	17	3	0,2 – 0,6
Algodão	15	3	0,1 – 0,2

Fonte: BODIESELBR

Como se pode observar, o dendê é a cultura que possui maior potencial de rendimento em óleo em toneladas/hectare quando comparada com outras oleaginosas. Além do processo de transesterificação, o biodiesel pode ser obtido através de processos de craqueamento e esterificação. Independente do processo, a cadeia produtiva do biodiesel gera subprodutos, sendo o principal deles a glicerina, que possui alto valor econômico associado para as indústrias farmacêuticas e de cosméticos (COSTA, 2007).

Segundo COSTA (2007) o biocombustível pode ser adicionado a motores convencionais de óleo diesel sem que haja qualquer modificação no mesmo, portanto o biodiesel pode ser substituído parcial ou totalmente pelo óleo diesel convencional. Não se pode dizer o mesmo a respeito do óleo vegetal, que devido a sua alta viscosidade interfere no processo de ingestão do motor e ao longo do tempo formam resinas produzindo a colagem dos anéis no pistão.

No território brasileiro, esse processo é realizado por usinas autorizadas pela Agência Nacional do Petróleo – ANP, que estabelece especificações físico-químicas para que o biodiesel possa ser comercializado com qualidade aos consumidores através da Resolução ANP Nº 45/2014, conforme o Anexo A.

Cabe ainda à ANP, promover os leilões de biodiesel, criados pelo Conselho Nacional de Política Energética para garantir a disponibilidade de biodiesel aos produtores e importadores de óleo diesel, a fim de garantir a quantidade de mistura diesel/biodiesel definida por lei. Diferente dos leilões convencionais, neste os produtores ofertam o volume de biodiesel disponível, e arremata o consumidor que oferecer o menor lance. Quanto à aquisição de biodiesel autorizativo, este pode ser comprado diretamente dos produtores, sem necessidade de passar pelo sistema de leilões. Essa é uma medida recente tomada pela ANP depois de o leilão 47 (em janeiro de 2016) não ter recebido nenhuma oferta para a compra do biodiesel autorizativo (EPE, 2016)

3.2.1 Extração do Óleo

O Dendzeiro (*Elaeis Guineensis*) produz dois tipos de óleo: um extraído de sua polpa (mesocarpo), denominado de óleo de palma e o outro de sua semente, chamado de óleo de palmiste (PKO – palm kernel oil), como mostra a Figura 3. A principal diferença entre esses dois óleos está nas composições de ácidos graxos presentes e suas aplicações (Aboissa Óleos Vegetais).

Segundo (BORGES, FELICI, *et al.*, 2007), a extração do óleo de dendê apresenta o seguinte balanço de massa:

- Óleo de palma bruto: 20%
- Óleo de palmiste: 1,5%
- Torta de palmiste: 3,5%
- Cachos vazios: 22%
- Fibras: 12%
- Cascas: 5%
- Efluentes Líquidos: 50%

Figura 3 – Dendê



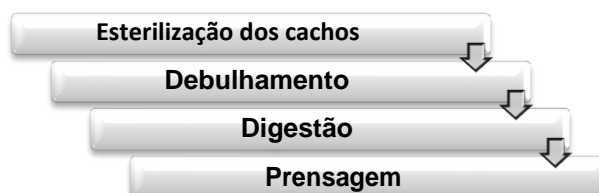
Fonte: Aboissa Óleos Vegetais (2013)

De acordo com a SOUZA (2000), o processo de extração do óleo de dendê (ou palma) se inicia com a esterilização das sementes, realizada com vapor d'água a uma temperatura média de 130°C, submetido a uma pressão de 2 kg/cm², durante uma hora.

O IBICT (2016) ressalta que o transporte das sementes do local de cultivo até a indústria deve ser realizado o quanto antes após a colheita (no máximo 72 horas) para que a qualidade do óleo não seja afetada por conta da deterioração dos frutos. A esterilização inativa as enzimas responsáveis pela acidificação e facilita a próxima etapa, que é a de debulha dos cachos.

O debulhador recebe os cachos esterilizados e os separa dos frutos, a partir daí os frutos são direcionados ao malaxador (digestor), que “amassa” a polpa do fruto quebrando a estrutura de suas células. A massa que sai do digestor é conduzida até o processo de prensagem, onde finalmente é extraído o óleo vegetal (Figura 4).

Figura 4 – Etapas da extração do óleo

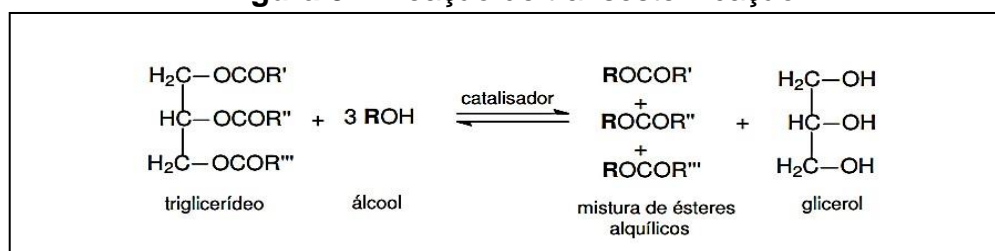


Fonte: Do autor.

3.2.2 Processo de Transesterificação

Transesterificação é a reação que ocorre entre um éster original e um álcool na presença de um catalisador que dão origem a um novo éster (Figura 5). O óleo vegetal é um éster de ácido graxo composto de triglicerídeos que ao reagirem com três moléculas de álcool formam um monoalquil éster (biodiesel) e um glicerol (GARCIA, 2006).

Figura 5 – Reação de transesterificação



Fonte: Ricaczski et al, 2006.

Na reação pode ser utilizado tanto álcool etílico quanto metílico, e o catalisador pode ser de caráter ácido ou básico. Os álcoois mais utilizados são os de cadeia curta, preferencialmente o metanol, por apresentar maior rendimento, porém, o uso do etanol seria uma alternativa mais ecologicamente correta na produção do biocombustível, quando de origem renovável. Em relação ao catalisador, apesar de os catalisadores básicos agirem com velocidade muito maior que os ácidos, correm risco de saponificação (BORGES, FELICI, *et al.*, 2007).

Para que se obtenha o máximo rendimento utiliza-se álcool anidro e óleo vegetal com conteúdo de ácidos graxos inferior a 0,5%. Além disso, a reação deve ser mantida a uma temperatura de 60°C e uma estequiometria de 6:1 (álcool:óleo), para que dessa forma o excesso de três moléculas de álcool seja aproveitado na separação do biodiesel da glicerina (QUEIROZ, 2011)

3.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

Avaliação do Ciclo de Vida - ACV (*Life Cycle Analysis* – LCA) é um estudo que permite identificar e determinar os impactos causados por um processo ou um produto durante todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a aquisição de matéria-prima até a disposição final do mesmo. Analogamente, pode ser definida como a análise “do berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*) de um produto, ou ainda “do berço ao berço” (*cradle-to-cradle*) quando a reciclagem e reutilização fizerem parte da cadeia produtiva. É uma ferramenta bastante utilizada para auxiliar na tomada de decisões no que se refere ao planejamento e gestão ambiental na minimização de impactos ambientais.

3.3.1 Histórico da ACV

O conceito de Avaliação de Ciclo de Vida surgiu em meados da década de 70, quando a conscientização sobre problemas ambientais ganhou força mundial.

Segundo SEO e KULAY (2006) o primeiro estudo feito com essa abordagem foi realizado pela Coca Cola, que comparou o ciclo de vida entre suas embalagens para saber qual utilizaria menos recursos e tivesse um menor índice de emissões atmosféricas. Esse estudo, que ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA), foi realizado pela *Midwest Research Institute* (MIR), que aprimorou o modelo para a agência de proteção ambiental norte americana (*Environmental Protect Agency – EPA*) dando o surgimento para o que hoje denominamos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

Alguns problemas começaram a surgir à medida com que se avançavam os estudos, pois os resultados podiam divergir mesmo que o produto fosse o mesmo. Pensando nisso, a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (*Society of Environmetal Toxicology and Chemistry – SETAC*), em 1989 promoveu um evento científico para melhorar o desenvolvimento da ACV (INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES, 2002).

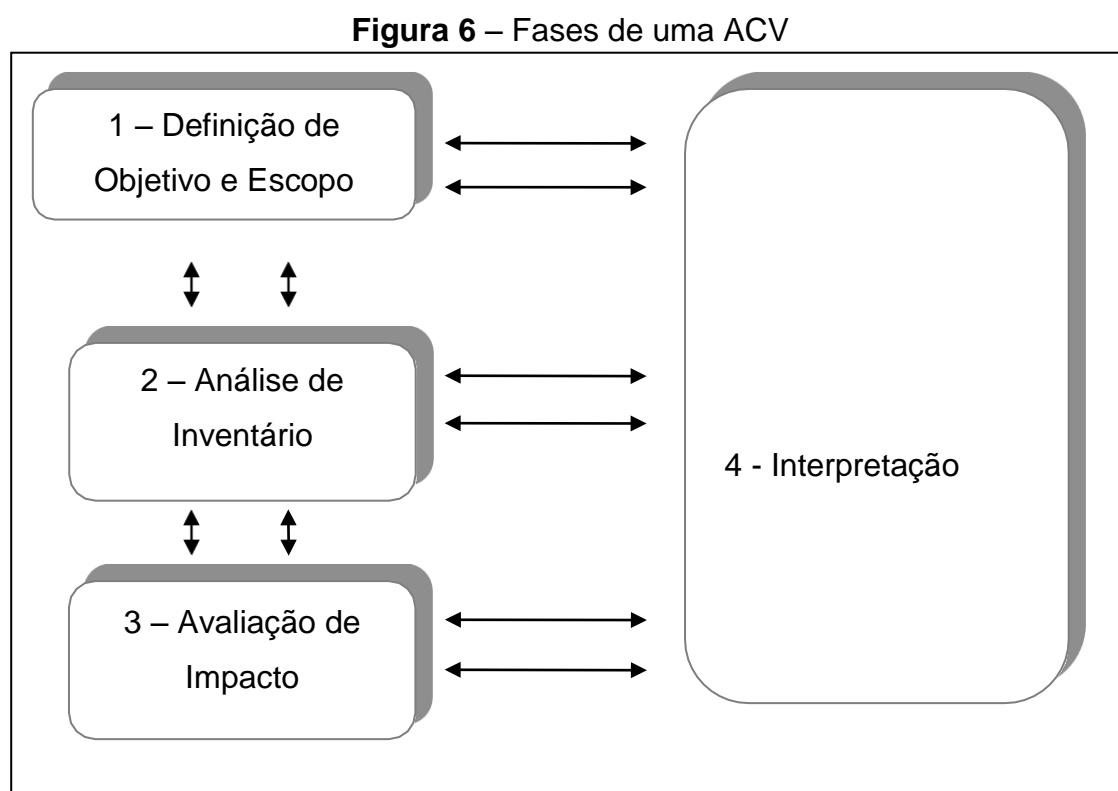
Em 1997, a ISO (*International Organization od Standardization*) normatizou a Avaliação de Ciclo de vida através da NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, e de lá pra cá já publicou uma série de normas para complementar essa.

No Brasil, a normatização ficou por conta da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que lançou no ano de 2001 a norma ABNT NBR ISO 14040, com a versão traduzida da norma internacional. Três anos depois, o IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia) introduziu a ACV em suas linhas de pesquisa, sempre buscando enriquecer o desenvolvimento do banco de dados nacional de Inventários de Ciclo de Vida (ICV). Até nos dias de hoje, o IBICT é referencia do que diz respeito ao tema (IBICT, 2016).

3.3.2 Metodologia da ACV

A norma NBR ISO 14040 define a ACV como: “uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante: a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de

produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos”. E determina que a metodologia para a execução da ACV é dividida em quatro fases, como mostra a Figura 6. São elas: definição de objetivo e escopo (1), análise do inventário (2), avaliação de impactos (3) e a interpretação dos resultados (4) (ABNT NBR ISO 14040:2001).



Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009 – Adaptado

A primeira fase consiste na definição de escopo e objetivo, pois a ACV de um mesmo produto pode variar segundo sua finalidade (COSTA, 2007).

A definição do objetivo deve estabelecer claramente a aplicação que será desenvolvida no objeto de estudo e o escopo, por sua vez, é a técnica que irá definir qual o caminho percorrer para alcançar o objetivo definido anteriormente.

O planejamento do escopo deve contemplar a extensão do estudo, isto é, onde começa e onde termina, assim como o seu nível de detalhamento e o número de subsistemas. Essas dimensões consideradas no início do projeto podem ser

adaptadas ao longo da execução do mesmo. Além disso, o escopo deve descrever a unidade funcional, o sistema de produto (funções e fronteiras), os fluxos de referência, os procedimentos de alocação, requisitos da qualidade dos dados, suposições e limitações (ABNT NBR ISO 14041:2004).

A fase seguinte é a análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), onde é elaborado o fluxograma do sistema em estudo, de modo que as fronteiras estejam bem definidas, e apresente uma descrição detalhada de todos os dados de entrada e saída que serão aplicados ao sistema. De acordo com a NBR ISO 14.041, “essas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e liberações no ar, na água e no solo associados com o sistema”. O processo de análise é iterativo – a medida que os dados são coletados e se conhece mais do sistema, novos requisitos ou limitações podem ser observado exigindo mudanças ou até revisão dos objetivos e escopos adotados.

A Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) é a terceira fase do estudo, que irá incorporar informações ao ICV quanto ao enfoque ambiental.

Por ultimo, a Interpretação dos resultados, a fase final que engloba os estudos do ICV e da AICV como base para concluir se os objetivos foram alcançados.

3.4 CICLO DE VIDA DO BIODIESEL

O ciclo de vida do biodiesel a partir de óleo de dendê tem início na atividade agrícola (cultivo e colheita dos cachos de frutos), após a colheita ocorre o transporte das sementes até a indústria, onde ocorrerá o processo de extração do óleo e a produção de biodiesel, o combustível é então distribuído para as unidades consumidoras e, encerra-se com a utilização do biodiesel em veículos automotores (PLEANJAI, GHEEWALA e GARIVAIT, 2007).

A produção de combustíveis renováveis geralmente inclui no processo a utilização de energia não renovável, como o uso de produtos químicos e combustíveis fósseis, que devem ser medidos ao longo do ciclo de vida do biodiesel

a fim de determinar em qual dimensão o combustível é renovável. O fator de renovabilidade serve como base para a tomada de decisões na mudança de alguns aspectos que podem tornar a produção mais “limpa” (PRADHAN, SHRESTHA, *et al.*, 2011). Como no Brasil, o uso do biodiesel puro (B100) necessita de autorização da ANP (RESOLUÇÃO ANP Nº 18, DE 22.6.2007 – DOU 25.6.2007), para o ciclo de vida do biodiesel, nesse estudo foi adicionada a etapa de distribuição para as refinarias antes do transporte para as unidades revendedoras (postos de combustíveis). As refinarias são responsáveis por efetuar a mistura de biodiesel e óleo diesel, em volume definido por lei, antes de ser vendido para o consumidor final.

A Figura 7 apresenta o esboço da análise do ciclo de vida do biodiesel de dendê desde o cultivo da matéria prima até sua disposição final.

Figura 7 – Esboço da análise



Fonte: Do autor.

3.5 ASPECTOS AMBIENTAIS

A questão ambiental é a parte mais complexa da avaliação, pois envolve relacionar ar, solo e água, para que estas se mantenham equilíbrio, ou seja, tentar o máximo possível para que não se beneficie um fator prejudicando outros. Além de causar impactos ao meio ambiente, a agroindústria pode refletir nos aspectos econômicos e sociais (SILVA, ESCOBAR, *et al.*, 2011).

A Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº001, de 23 de janeiro de 1986, no artigo 1º, conceitua impacto ambiental como:

(...) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (...) resultante das atividades humanas que diretamente ou indiretamente afete: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias e estéticas do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.

Os impactos ambientais exercidos pela produção e consumo do biodiesel podem ser tanto positivos quanto negativos. Para que o combustível proveniente dessa fonte seja vantajoso em relação ao combustível fóssil devem-se considerar alguns fatores como: emissão de gases, utilização de recursos naturais, mudança de uso do solo, alteração da biodiversidade (SILVA, ESCOBAR, *et al.*, 2011).

O termo “sustentável” é constantemente empregado com relação aos biocombustíveis por ser considerada uma energia renovável. O principal aspecto que justifica este fato é que além de emitir menor quantidade de gases contribuintes para o efeito estufa como monóxidos e dióxidos de carbono (CO, CO₂), o cultivo da biomassa é capaz de sequestrar o CO₂ que foi emitido pelo processo de queima do combustível, causando um impacto ambiental positivo por contribuir para a mitigação do aquecimento global (BRINGEZU, SCHUTZ, *et al.*, 2009).

A cultura do dendê, assim como toda atividade agrícola, gera impactos ao meio ambiente uma vez que está contida no processo a utilização de recursos naturais como água e solo e a aplicação de insumos químicos como fertilizantes. O uso de combustíveis fósseis também está inserido no ciclo do produto através das etapas de transporte, onde o principal combustível utilizado é o diesel e nos processamentos industriais, que também necessitam desses recursos para seu funcionamento. Em virtude disso, fatores que possam verificar se a fração de energia fóssil usada no processo não supera a parcela de energia renovável são de extrema importância para avaliação do impacto ambiental (PRADHAN, SHRESTHA, *et al.*, 2011).

Quanto à disponibilidade de terra para o cultivo, o dendê se destaca em relação a outras oleaginosas, pois são capazes de se desenvolver em áreas de baixa produtividade e seu fruto apresenta maior rendimento de óleo em toneladas por hectare. Considerando que este estudo foi baseado em uma lavoura de dendê já

existente, não foi levada em conta a mudança de uso do solo, que poderia acarretar em uma competição do mercado energético com o mercado alimentício (SILALERTRUKSA e GHEEWALA, 2012).

Em relação à alteração de biodiversidade, esta seria ocasionada caso haja degradação do habitat devido ao desmatamento. O desmatamento corresponde à um impacto negativo, pois a supressão da vegetação nativa além de trazer prejuízo para a fauna local, pode desencadear uma série de acontecimentos, tais como alterações no clima, erosão do solo e alteração da qualidade e disponibilidade de água (BRAGA, 2005). Nesse âmbito, o governo brasileiro possui o Programa de Produção de Óleo de Dendê Sustentável, que conta com diretrizes e normas ambientais para garantir não haja supressão de vegetação nativa (BIODIESELBR, 2006).

4 METODOLOGIA

4.1 SOFTWARE GREET

O estudo de ACV deste trabalho será conduzido com o auxílio do software livre GREET Model 2016, desenvolvido pela *Argonne National Laboratory* e patrocinado pelo Departamento de Energia, Eficiência Energética e Energias Renováveis dos Estados Unidos (*U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*). O GREET (*Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation*) permite que o usuário defina o sistema e avalie diversas combinações de veículos e combustíveis, e a partir disso calcula o consumo total dos recursos e as respectivas emissões de gasosas.

O GREET se sobressaiu na escolha do software, pois em comparações com outros modelos livres disponíveis tais como: OpenLCA que apesar de ser gratuito não disponibiliza as bases de dados livre, SimaPro que além de requerer uma grande quantidade de espaço HD é também um software pouco visual, Gabi contém informações de estudo referente a mais de 20 anos de atuação da empresa alemã desenvolvedora do software mas em contrapartida dificulta a edição e adaptação dos fluxos de matéria e energia, Umberto NXT é mais indicado para avaliações que envolvem análise de custos. O GREET por sua vez conta também com uma base de dados livre, que permite comparações com modelos/estudos já realizados. Além disso, sua interface visual permite a criação e edição de modelos com mais interatividade.

Para entender melhor como funciona o modelo, faz-se necessário definir a terminologia utilizada no software para a transformação das matérias-primas em produtos. O primeiro deles, Caminho (*Pathway*) é a série de processos que abrange todo o ciclo de vida do combustível. Recursos (*Resource*) são todas as matérias-primas, produtos, materiais e/ou fluxos de energia que entram no sistema. Processos (*Process*) são as operações incluídas no sistema os quais transformam um determinado produto, podendo ser estacionários ou móveis. Tecnologias (*Technology*) são responsáveis pelas transformações da matéria-prima em produto

(saída) e estão inseridas dentro de cada Processo, podendo haver apenas uma ou uma série de Tecnologias embutidas.

4.2 EXECUÇÃO DA ACV

O GREET inicia a ACV com a seleção do produto e a delimitação da fronteira do sistema, que definirá quais processos que devem ser incluídos em todo o sistema. Para qualificar os impactos ambientais do produto, deve ser definida a unidade funcional que será usada (expressa em termos de energia ou de massa), e o caminho que irá percorrer para a análise do combustível escolhido. Esse modelo conta com uma base de dados multidimensional de planilha Excel, que recalcula os resultados a cada edição feita no programa.

O primeiro passo para desenvolver a ACV foi a escolha do produto biodiesel, a cadeia de produção a partir de óleo de soja (já existente no GREET) foi modificada para a produção a partir de óleo de dendê. Os processos são os mesmos com exceção da última etapa, pois antes de o combustível ser distribuído aos postos revendedores passa pela refinaria, onde ocorre a mistura diesel/biodiesel prevista por lei (Figura7).

Em seguida, começa a modelagem de cada etapa, editando cada processo de acordo com os recursos usados e as tecnologias inseridas.

4.2.1 Definição de objetivo e escopo

Nesse estudo de ACV do biodiesel proveniente de óleo de dendê, o objetivo foi analisar a emissão gasosa e o gasto energético de todo o processo produtivo e mensurar até que ponto o combustível é ou não renovável e de que forma contribui para a redução de gases de efeito estufa.

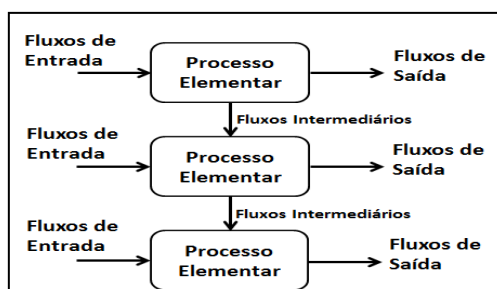
A razão para a execução deste estudo é gerar informações para a ampliação de um banco de dados, facilitando a comparação entre a utilização do biodiesel de

dendê através de diferentes rotas de produção (via metílica e etílica) e contabilizar as emissões no processo de distribuição do combustível.

4.2.2 Sistema de produto

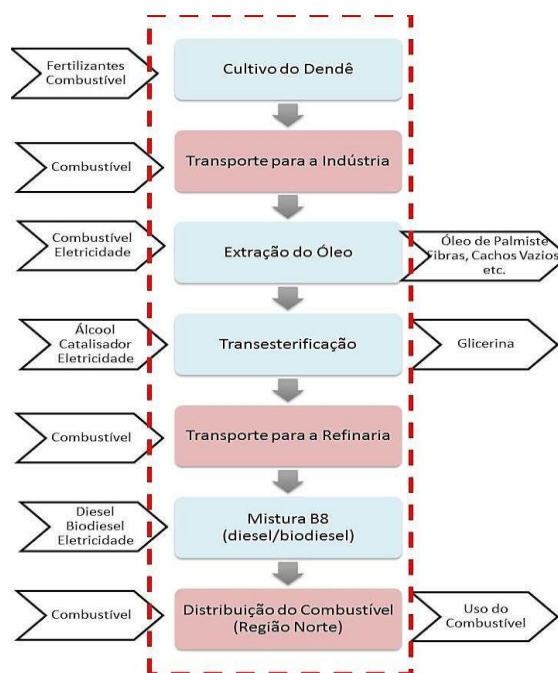
De acordo com a ABNT (2009), a definição do sistema de produto é dada por um “conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto”. Sendo assim, o sistema de produto é nada mais que o conjunto de processos do sistema, que o GREET define como Caminho (*pathway*). As Figuras 8 e 9, a seguir demonstram o exemplo de um sistema de produto, e o sistema de produto do biodiesel, respectivamente.

Figura 8 – Exemplo de um sistema de produto



Fonte: ABNT (2009)

Figura 9 – Sistema de produto do Biodiesel



Fonte: Do autor.

A Figura 9 demonstra neste sistema de produto do biodiesel, os fluxos de entrada e saída estão indicados dentro das respectivas setas, os processos elementares estacionários preenchidos em azul e os móveis em vermelho (segundo esboço proposto pelo GREET), e a fronteira do sistema em linha tracejada descreve a análise feita do “berço-ao-túmulo” (*cradle-to-grave*), incluindo as etapas de extração de matéria prima, transformação de recursos e distribuição do combustível.

Depois de estabelecido o objetivo e o sistema de produto, define-se que a função do produto é a produção de biodiesel de óleo de dendê através do processo de transesterificação, tanto por rota metílica quanto etílica. Já a unidade funcional estabelecida para a modelagem dos dados foi preferencialmente a unidade de massa em toneladas, e somente para a etapa de mistura adotou-se a referência por unidade de volume, para cada 1L de biodiesel. Ou seja, os dados de saída expressam a quantidade de gases emitida por tonelada de biodiesel e, no caso da análise energética, indica a quantidade de recursos utilizados em MJ por litro de biodiesel.

4.2.3 Análise de inventário

4.2.3.1 Atividade agrícola

Em conformidade com a delimitação da fronteira, o primeiro processo a ser considerado nessa ACV é a Atividade Agrícola. Foram incluídos como recursos os fertilizantes, que são requeridos para a etapa de cultivo do dendê e o combustível diesel, necessário para o equipamento que fará a colheita dos cachos. De acordo com a (MULLER, 1980), o plantio das mudas, que concentra cerca de 143 plantas por hectare, é feito na época mais chuvosa do ano e incorpora duas fases: fase de crescimento (3 anos) e fase de produção (a partir do 4º ano). Após 25 anos o dendezeiro deixa de ser economicamente aproveitável, devido à elevada altura que a planta atinge, dificultando o processo de colheita. A Tabela 3 demonstra os valores de referencia para os produtos e dosagens de fertilizantes utilizados para a cultura do dendê.

Tabela 2 – Produtos e dosagens de fertilizantes para a cultura de dendê

Fertilizante	NO (kg/ha)	N1 (kg/ha)	N2 (kg/ha)	N3 (kg/ha)	N4 (kg/ha)	N5 - N25 (kg/ha)
Sulfato de amônio (20%N)	72	143	143	143	-	-
Superfostato Triplo (42% P₂O₃)	72	-	-	-	-	-
Cloreto de Potássio (60% K₂O)	36	72	108	143	179	-
Sulfato de magnésio (17% MgO)	8	15	36	36	72	143
Bórax (11,5% B₂O₃)	-	8	11	11	15	15
Fosfato natural (em cobertura)	1500	-	-	-	700	700
Obs.: à exceção do fosfato natural que é aplicado a cada quatro anos em cobertura, os fertilizantes são aplicados em coroa com raios crescentes de 0,50 metro, 1,00 metro e 1,50 metro.						

Fonte: (MULLER, 1980)

Para a modelagem dos dados no GREET, foi apontado a quantidade de fertilizantes corresponde a 4 anos, pois é o período onde ocorre a primeira colheita, após esse período o solo é corrigido conforme a necessidade visto que a planta

está sujeita a fatores externos. Na Tabela 2, N0 significa o ano do plantio, N1 o primeiro ano após o plantio e assim sucessivamente.

4.2.3.2 Transporte para a indústria

Para os processos móveis, o GREET exige que alguns parâmetros sejam definidos para cada etapa de transporte que geralmente inclui a distância percorrida, a parcela que representa qual fração do recurso está sendo transportado pela etapa, e a parcela urbana, usada para calcular qual fração das emissões vai para as áreas urbanas (os dois últimos dependem do meio de transporte utilizado). Para os veículos caminhão e barco ainda deve ser definidos parâmetros específicos de carga útil (GREET Manual, 2016).

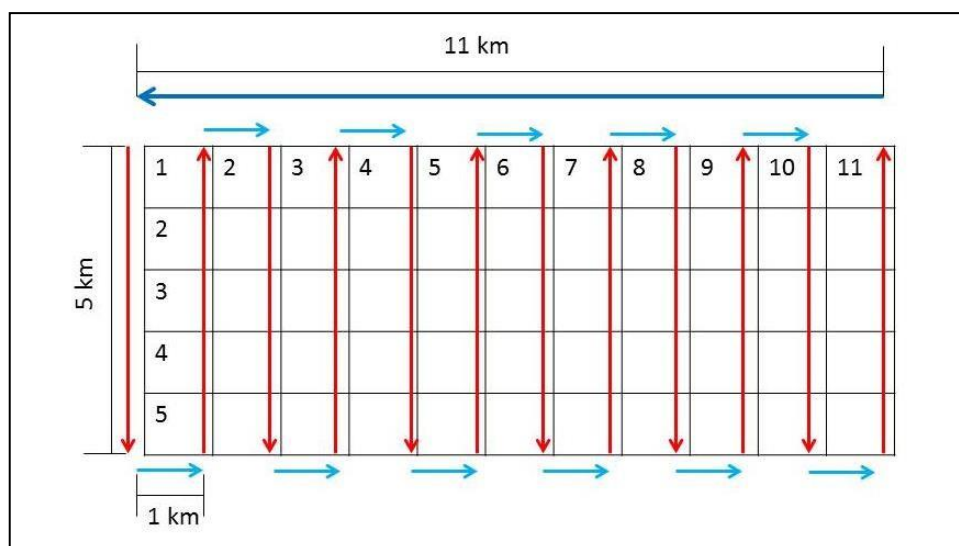
Dito isso para o processo de transporte da lavoura até a indústria, a escolha do veículo foi um caminhão de carga pesada, que percorre 100 km, carga útil de 18 toneladas para cachos de fruto fresco de dendê, parcela de 100% de recurso transportado e 5% de parcela urbana (valores padrão definidos pelo GREET).

Conforme a Resolução nº 210 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) para um caminhão duplo direcional trucado, o peso máximo permitido por eixo é de (6+6+17) toneladas, e o PBT (peso bruto total) somados a 5% de tolerância é igual a aproximadamente 30,5 toneladas. Segundo o catálogo de Especificações Técnicas da Mercedes-Benz um caminhão desse porte é capaz de transportar cerca de 22,8 toneladas de carga útil. Nesse estudo foi determinado que o caminhão de carga pesada transporta 18 toneladas de cachos de frutos frescos (CFF), pois o peso dos eixos e da carroceria varia de acordo com o fabricante.

A AmazonBio foi a indústria escolhida para o beneficiamento do dendê, segundo o Boletim Mensal do Biodiesel de Dezembro de 2016 (ANP, 2016) ela é única planta da região Norte do Brasil autorizada para a operação e comercialização que utiliza o dendê como matéria prima para a produção de biodiesel. Localizada no município de São João da Baliza (RO), a empresa conta com 5,5 mil hectares de plantação equivalente a uma área de 55 km². Traçando uma suposta rota que o caminhão percorria para a colheita de todo o cultivo, estima-se que ele percorre

uma distancia de 60 km no trajeto vertical ilustrado na Figura 10 somados a 22 km de ida e volta, totalizando em 82 km. Para a molde de dados no GREET foi considerados 100 km de curso.

Figura 10 – Esboço do trajeto de colheita

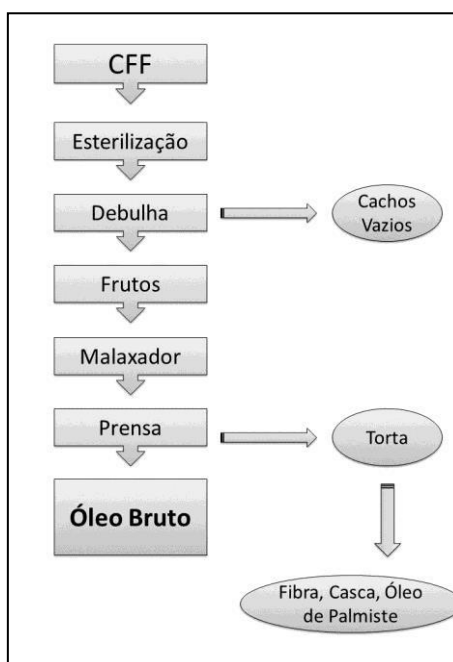


Fonte: Do autor.

(MULLER, 1980) ressalta que essa etapa de transporte deve ser realizada o quanto antes após a colheita para que os cachos não sofram acidificação, que dificulta a próxima etapa e influencia na qualidade do óleo.

4.2.3.3 Extração do óleo

Ao chegar à indústria, os cachos de frutos frescos são submetidos ao processo de Extração do Óleo. Os recursos de entrada desse processo são a eletricidade e o combustível utilizado para alimentação do maquinário. Essa etapa de beneficiamento do dendê (Figura 10) gera subprodutos, tais como: cachos vazios, torta, fibras, casca e óleo de palmiste. Apesar de esses produtos terem outras aplicações na indústria alimentícia e cosmética, ou até mesmo serem reaproveitadas como combustível para as caldeiras, respeitando os limites de fronteira desse sistema, esses subprodutos serão apenas listados como recurso de saída e não será incluída na ACV.

Figura 11 – Beneficiamento do dendê

Fonte: Do autor

4.2.3.4 Transesterificação

Após a obtenção do óleo bruto de dendê, o mesmo é conduzido para o processo de transesterificação, que consiste na reação de um éster (óleo vegetal) com um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (básico ou ácido). A produção de biodiesel para este estudo considerou as rotas metílica e etílica na presença do catalisador alcalino hidróxido de sódio, por possuir maior velocidade de reação, que implica em temperaturas mais baixas e consequentemente menor custo (COSTA, 2007).

Quanto ao álcool empregado no processo, o metanol é predominante em relação ao etanol. Isso se deve ao fato de que o metanol opera em cinética mais acelerada, mantendo a temperatura e o custo mais baixos. Em contrapartida, o etanol além de ser um recurso alternativo e renovável possui grande disponibilidade no Brasil, um dos maiores produtores de etanol mundial. Atualmente, as usinas de biodiesel brasileiras dispõem de tecnologia “flex”, a versatilidade da tecnologia

viabiliza a utilização tanto de ambas as rotas para a produção do combustível (QUEIROZ, 2011).

O subproduto desse processo, a glicerina, assim como os subprodutos formados na extração do óleo possui outras aplicações em diversas indústrias, mas que, obedecendo à fronteira do sistema, não será inserida nessa ACV.

4.2.3.5 Transporte para a refinaria e mistura

Para o transporte da usina de biodiesel até a refinaria (base primária de distribuição de combustível), estimou-se a distancia de 550 km e não alterou os parâmetros do GREET para parcela, parcela urbana e carga útil, permanecendo com 100%, 68,5% e 22,7 toneladas de biodiesel, respectivamente, para caminhão de carga pesada.

A última etapa industrial compreende a mistura obrigatória de 8% de biodiesel para 92% de diesel para distribuição do combustível, portanto, utiliza como recurso o diesel, o biodiesel e a eletricidade.

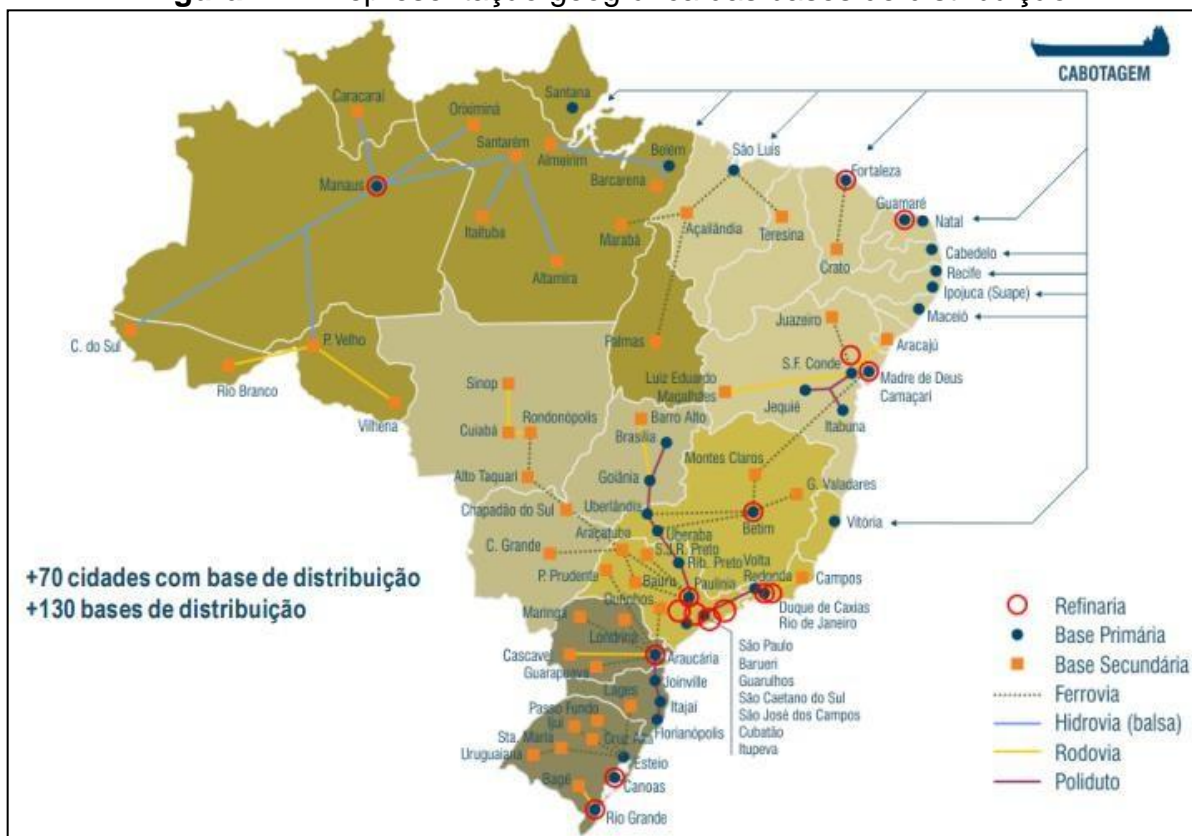
4.2.3.6 Distribuição do combustível

Nessa ultima etapa, o biodiesel (B8) segue um modelo de logística tradicional, onde será levado e armazenado nas bases de distribuição, como pode ser observado na Figura 11. Bases de Distribuição Primárias (Principais) são as bases que recebem o combustível diretamente da refinaria. Bases Secundárias (de Interior) recebem o produto de outras bases. Por razões de investimento e análise custo-benefício, as Bases da Petrobrás servem de base para outras empresas menos estruturadas logisticamente para que todo o território brasileiro seja atendido. De modo geral, a logística de combustíveis no Brasil engloba três tipos de fluxos: fluxo primário (das refinarias para as bases primarias), fluxo de transferência (de uma

base para outra) e fluxo de entrega (da base para os postos revendedores) (IBP, 2007).

De acordo com o SINDICOM (2017), atualmente o Brasil conta com aproximadamente 160 distribuidoras ativas e compete à ANP regular e fiscalizar essa atividade.

Figura 12 – Representação geográfica das bases de distribuição



Fonte: SINDICOM (2017)

Esse mapa representa os fluxos de transporte para todos os combustíveis, como este estudo refere-se ao biodiesel proveniente do dendê, somente será incluída na ACV a distribuição para a região Norte, local de extração da matéria prima.

A Tabela 3 descreve as rotas de distribuição para região Norte, onde as rotas são descritas de acordo com seu fluxo (fluxos primários – $N_{1,i}$; fluxos de transferência – $N_{2,j}$, $N_{3,k}$), distância, veículo modal e a quantidade de recurso utilizado em cada etapa.

Tabela 3 – Distribuição de combustíveis para a região Norte

ROTA	ORIGEM	DESTINO	DISTANCIA (km)	TRANSPORTE	RECURSO OnSite* (MJ)
N_{1.1}	Manaus (AM)	Caracaraí (RR)	640	Hidroviário	277
N_{1.2}	Manaus (AM)	Oriximiná (PA)	510	Hidroviário	246
N_{1.3}	Manaus (AM)	Santarém (PA)	600	Hidroviário	267
N_{1.4}	Manaus (AM)	C. do Sul (AC)	2000	Hidroviário	595
N_{1.5}	Manaus (AM)	Porto Velho (RO)	760	Hidroviário	305
N_{2.1}	Santarém (PA)	Itaituba (PA)	250	Hidroviário	186
N_{2.2}	Santarém (PA)	Altamira (PA)	300	Hidroviário	197
N_{3.1}	Porto Velho (RO)	Rio Branco (AC)	450	Rodoviário	699
N_{3.2}	Porto Velho (RO)	Vilhena (RO)	605	Rodoviário	896

Fonte: Do autor.

4.2.4 Avaliação de Impacto

O principal impacto a ser avaliado na produção de biodiesel é a averiguação da renovabilidade do combustível e as emissões gasosas. Para isso, este estudo utiliza dois fatores para medir o conteúdo de energia fóssil embutido no sistema de produto: razão de energia fóssil (FER) e a relação de energia líquida (NER).

A razão de energia fóssil é definida como:

O requisito mínimo para indicar que o sistema de biodiesel pode reduzir a dependência da energia fóssil é que o resultado do FER seja superior a 1. Quanto maior o valor, mais renovável é o combustível. O principal objetivo desse fator é mensurar a renovabilidade, portanto não engloba no denominador o uso de energia renovável (PRADHAN, A et al., 2011). A relação de energia líquida, por sua vez,

inclui em seu denominador o consumo de energia total, que possibilita determinar se o sistema possui ou não ganho de energia líquida, ou seja, sua eficiência energética. Para garantir que o sistema possua ganho de energia essa relação deve apresentar valor maior que 1 (SILALERTRUKSA e GHEEWALA, 2012). Deste modo, NER é definida como:

Os cálculos de Energia Disponível nas diferentes misturas do biocombustível foram feitos com base no Poder Calorífico Inferior e massa específica.

Resultados de FER e NER tanto para o biodiesel puro (B100) quanto para a mistura de biodiesel/diesel (B8) a partir das rotas metílica e etílica estão grifadas na Tabela 4 e 5, respectivamente.

No âmbito das emissões gasosas, esses foram divididos em dois grupos e analisados individualmente: GEE's e Critérios Poluentes. O primeiro envolve os gases de efeito estufa dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Critérios de poluição abrange os compostos orgânicos voláteis (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado 10 micrômetros e 2.5 micrômetros (MP10, MP2.5) e óxidos de enxofre (SO_x).

Também conhecido como gás carbônico, o CO_2 em conjunto com o metano e o óxido nitroso compõem o quadro de gases mais relevantes para o aquecimento global. São gases chamados de efeito estufa por absorverem parte da radiação solar, principalmente na região do infravermelho, e são essenciais para manter a temperatura global. A problemática gira em torno do excesso dessas emissões, que contribui severamente para as mudanças climáticas. Nesse cenário, a última Convenção da Organização das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (COP21) realizada em 2015 firmou o Acordo de Paris, onde 195 países se comprometeram a adotar medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa para limitar o aumento da temperatura da Terra em até 1.5°C até 2100 e entra em vigor no ano de 2020 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017)

Embora o CO_2 seja o gás mais abundante em termos quantitativos, o N_2O possui um Potencial de Aquecimento Global – GWP (*Global Warming Potencial*)

cerca de 300 vezes maior do que o CO₂ para uma equivalência temporal de 100 anos, ou seja, cada molécula de dióxido de carbono corresponde a 300 moléculas de óxido nitroso (AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS - EPA, 2017). Os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) são componentes químicos que se transformam em gás ao entrar em contato com a atmosfera devido sua alta pressão de vapor. Podem ser liberados tanto em ambientes externo como internos, e nessa situação prevalece à preocupação reportada para a emissão de COV para ambientes fechados, uma vez que sua exposição pode causar riscos à saúde humana. Os gases remanescentes (CO, NO_x, MP e SO_x) são todos resultantes do processo de combustão (EPA, 2017).

Segundo a EPA (2017), o material particulado pode ser classificado de acordo com o seu tamanho. O MP2.5 são partículas que medem até 2.5 micrômetros, detectadas em fumaças e em nevoeiros. O MP10 são as partículas com dimensão de 2.5 a 10 micrômetros, encontrados geralmente em regiões vizinhas a indústrias.

5 RESULTADOS (INTERPRETAÇÃO)

5.1 RENOVABILIDADE DO COMBUSTÍVEL

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7 para diferentes rotas de transesterificação, pode-se perceber que para o consumo de energia de origem fóssil, renovável e total foram praticamente os mesmos para as diferentes rotas de transesterificação visto que para a maioria deles a variação só ocorre depois da segunda casa decimal, com exceção do NER para o biodiesel puro, mas que também não apresentou diferença significativa.

Para o fator renovabilidade somente o biodiesel puro (B100) atendeu o requisito mínimo ($FER > 1$) com resultados iguais a 4 confirmando que o biocombustível é renovável (Tabela 4). Já para a mistura de 8% de biodiesel esse fator é reduzido para 0,07 provando que a parcela de combustível fóssil ultrapassa a de combustível renovável (Tabela 5). A simulação do GREET (Tabela 6) mostra que para o biocombustível ser considerado renovável a mistura de biodiesel/diesel deveria ser de no mínimo 65%.

Em relação ao balanço de energia disponível no combustível, até mesmo o biodiesel puro mostrou-se ineficiente ao exibir valores de NER inferiores a 1, sendo contraditório para o interesse produtivo, pois indica que se usa mais energia para produzi-lo do que ele disponibiliza. Isso pode ser justificado, pois neste estudo não foi considerado o reaproveitamento de resíduos nos processos e outros dados podem ter sido superestimados. Assim, algumas mudanças realizadas nas etapas industriais poderia facilmente reduzir o consumo total de energia e conseqüentemente elevar o ganho de energia líquida para o sistema, como por exemplo, a utilização de co-produtos como cachos de fruto vazios e fibras como combustível para a produção interna de vapor e energia que alimentam as caldeiras. A destinação final de efluentes é outra medida que se realizada de forma ecológica, através da compostagem ou um sistema de tratamento com captação de biogás, também contribui para o ganho de energia.

Tabela 4 – Resultados de FER e NER para biodiesel puro (B100)

B100 - MetOH		B100 - EtOH	
CONSUMO DE ENERGIA		CONSUMO DE ENERGIA	
Consumo Renovável	35514,3 MJ/t	Consumo Renovável	35134,3 MJ/t
Consumo Fóssil	7124 MJ/t	Consumo Fóssil	7107 MJ/t
Consumo Total	42638,3 MJ/t	Consumo Total	42241,3 MJ/t
FER	4,98516	FER	4,94361
NER	0,88078	NER	0,94528

Tabela 5 – Resultados de FER e NER para a mistura de 8% de biodiesel (B8)

B8 - MetOH		B8 - EtOH	
CONSUMO DE ENERGIA		CONSUMO DE ENERGIA	
Consumo Renovável	3,12 MJ/L	Consumo Renovável	3,09 MJ/L
Consumo Fóssil	40,72 MJ/L	Consumo Fóssil	40,72 MJ/L
Consumo Total	43,84 MJ/L	Consumo Total	43,8104 MJ/L
FER	0,07662	FER	0,07588
NER	0,86816	NER	0,8724

Tabela 6 – Resultados de FER e NER para a mistura de 65% de biodiesel (B65)

B65 - MetOH		B65 - EtOH	
CONSUMO DE ENERGIA		CONSUMO DE ENERGIA	
Consumo Renovável	22,46 MJ/L	Consumo Renovável	22,2 MJ/L
Consumo Fóssil	19,73 MJ/L	Consumo Fóssil	19,73 MJ/L
Consumo Total	42,19 MJ/L	Consumo Total	41,94 MJ/L
FER	1,13837	FER	1,12519
NER	0,8278	NER	0,86373

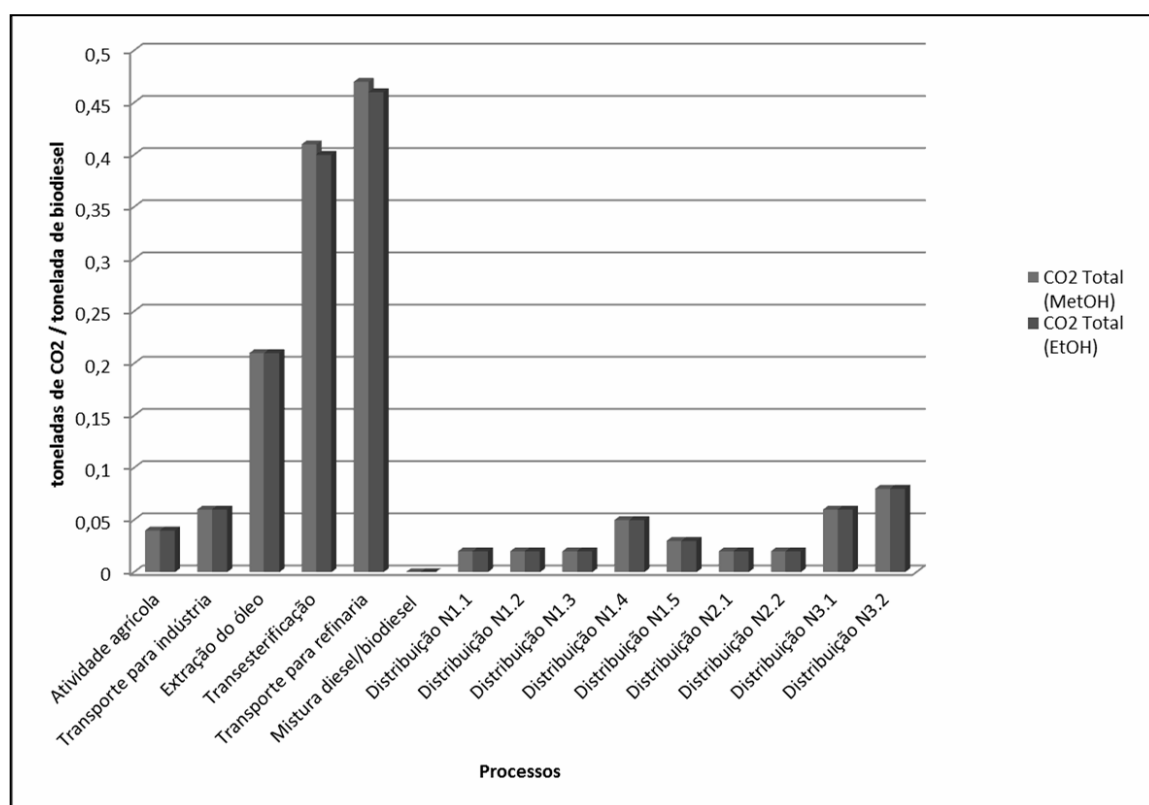
5.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Da mesma forma que não houve diferenças significativas em relação à renovabilidade entre as diferentes rotas de produção do biodiesel, as diferenças entre as emissões gasosas foram mínimas (Figura 13). Pode se considerar que diante de todo o ciclo de vida do biocombustível, a escolha do etanol para o

processo de transesterificação não pode ser vista como uma medida para a redução de emissão de GEE's, mesmo que seja um recurso renovável.

A Figura 13 constata que o processo industrial é uma das principais causas do aumento de emissões de CO₂ seguido pelos processos de transporte. Vale salientar que o meio de transporte utilizado também é um fator preponderante para o controle das emissões, visto que as rotas de distribuição rodoviárias (N_{3.1} e N_{3.2}) emitem maior quantidade de CO₂ do que as rotas hidroviárias.

Figura 13 – Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂)



A análise individual de cada etapa reporta que a Extração do óleo é mais impactante em termos de emissão de metano (Figura 14). Contudo a ACV indica que o transporte é o grande emissor de CH₄, responsável por 61% da jusante de todo o processo, pois assim como na distribuição de combustível a combustão na atividade agrícola é decorrente do meio de transporte utilizado em maquinários e veículo de colheita, restando 39% de emissão proveniente da atividade industrial (Figura 15). Além disso, a atividade industrial possui a vantagem de ser uma fonte pontual e dessa forma proporcionar a esse gás o reaproveitamento energético através de sistemas de recuperação.

Figura 14 – Emissões de Metano (CH₄)

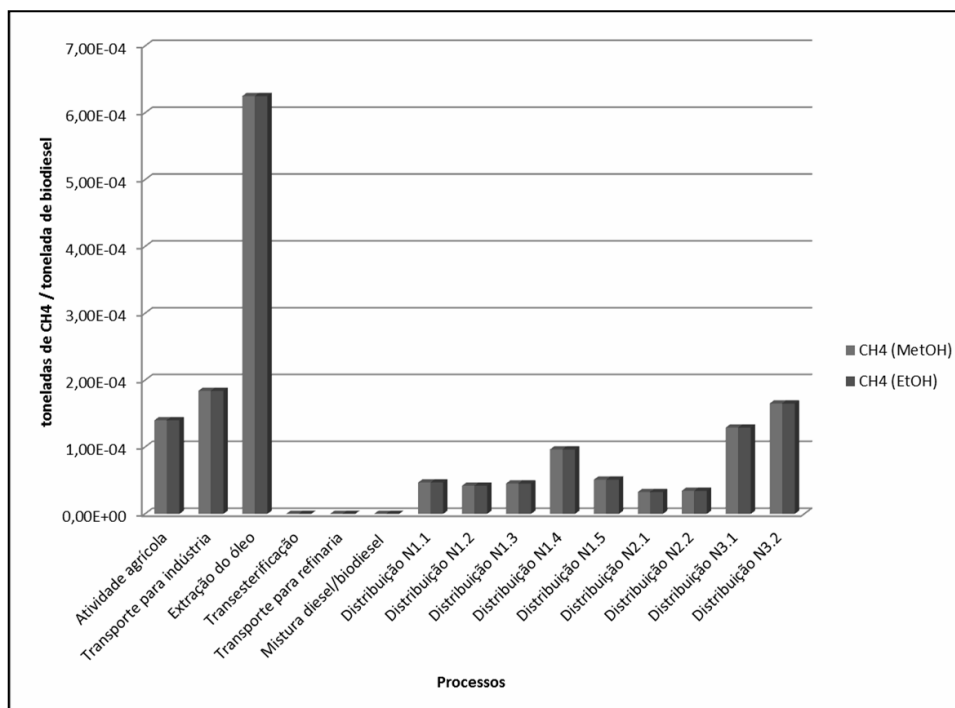
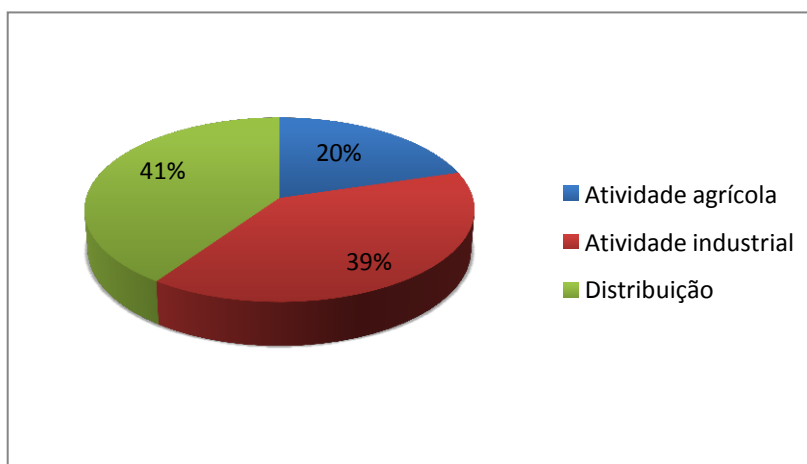


Figura 15 – Emissões de Metano (CH₄) por atividade



As emissões de N₂O podem ocorrer de forma natural através do processo de desnitrificação ou procedente dos setores agrícola, industrial e de transporte (Figura 17).

Na agricultura, o óxido nítrico é oriundo dos compostos nitrogenados embutidos nos fertilizantes. Já para a indústria e transporte são resultantes do processo de queima de combustíveis fósseis.

Figura 16 – Emissões de Dióxido de Nitrogênio (N₂O)

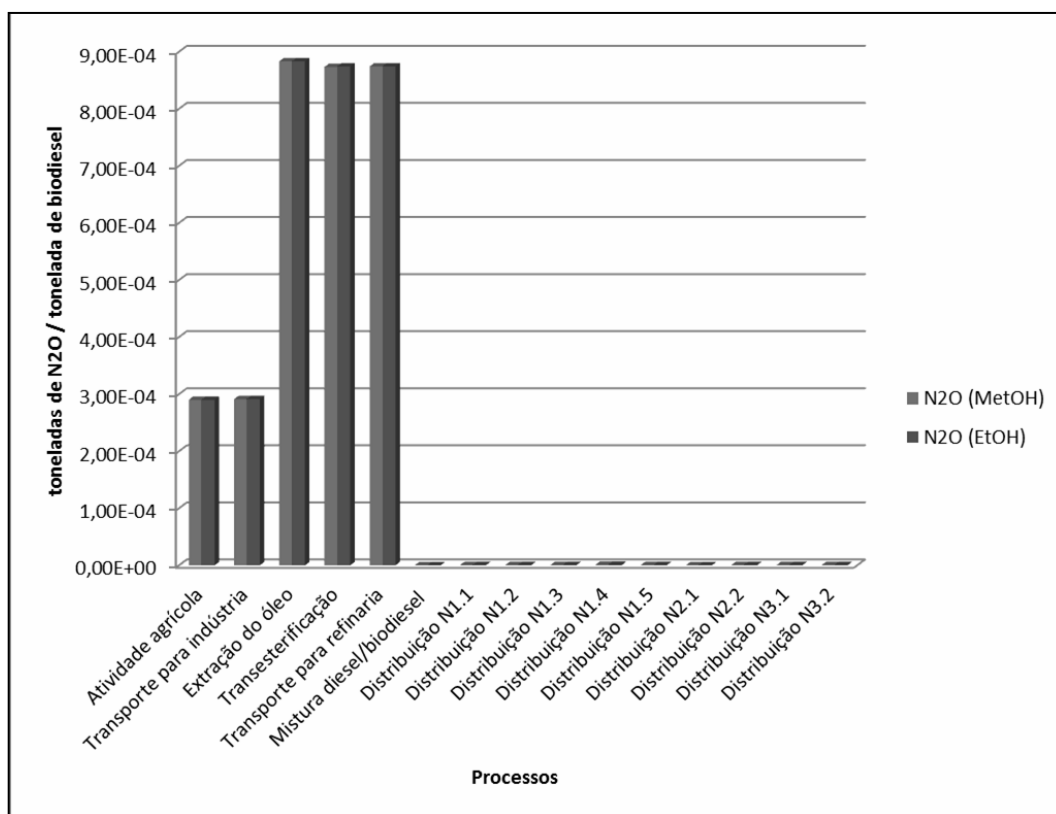
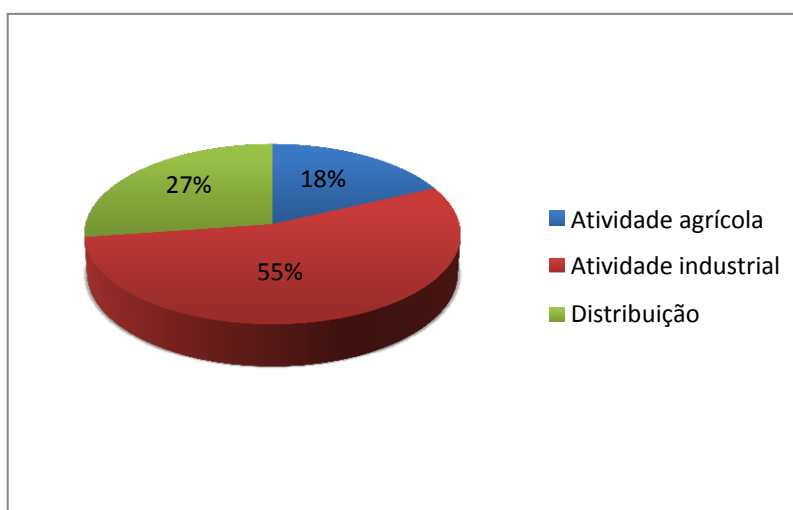


Figura 17 – Emissões de Dióxido de Nitrogênio (N₂O) por atividade



5.3 EMISSÕES DE GASES POLUENTES

Diante da visão geral dos gases considerados poluentes (Figura 18) emitidos pelos setores envolvidos na ACV, pode-se afirmar que os COV constituem uma pequena parcela quando comparados ao restante dos gases emitidos. A maior parte da liberação desses gases é proveniente das etapas de extração e transesterificação do óleo (Figura 19), que assegura a preocupação da emissão desses gases para ambientes internos.

Figura 18 – Visão geral das emissões de poluentes

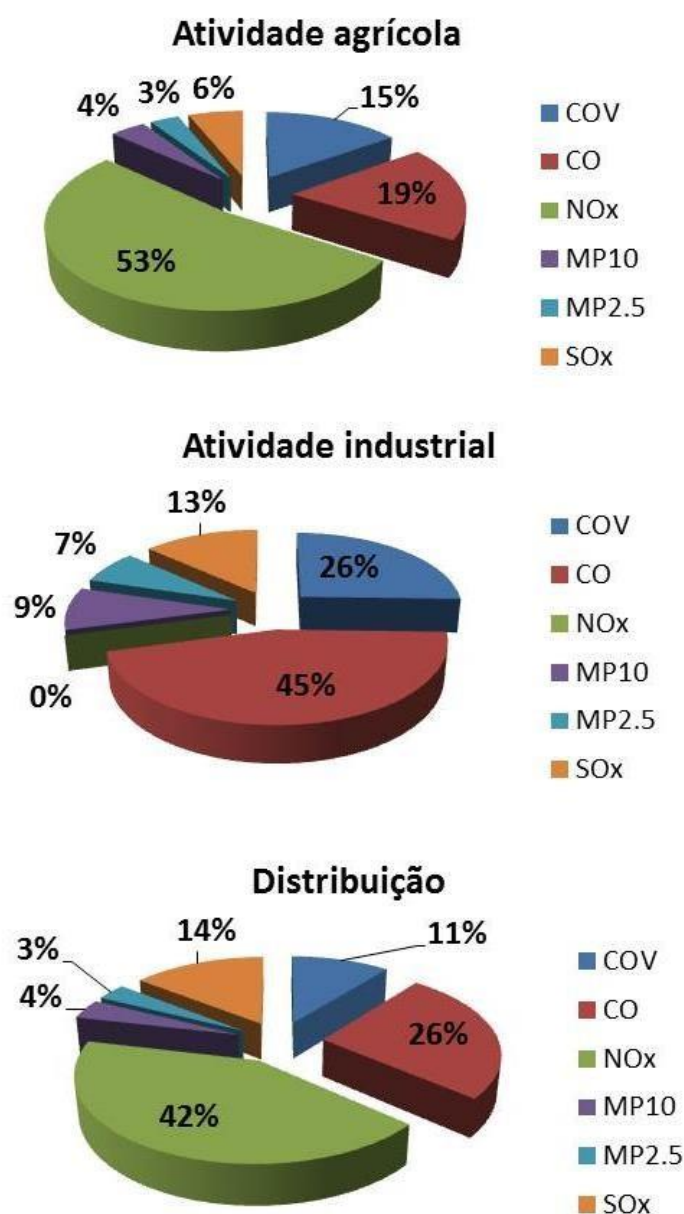
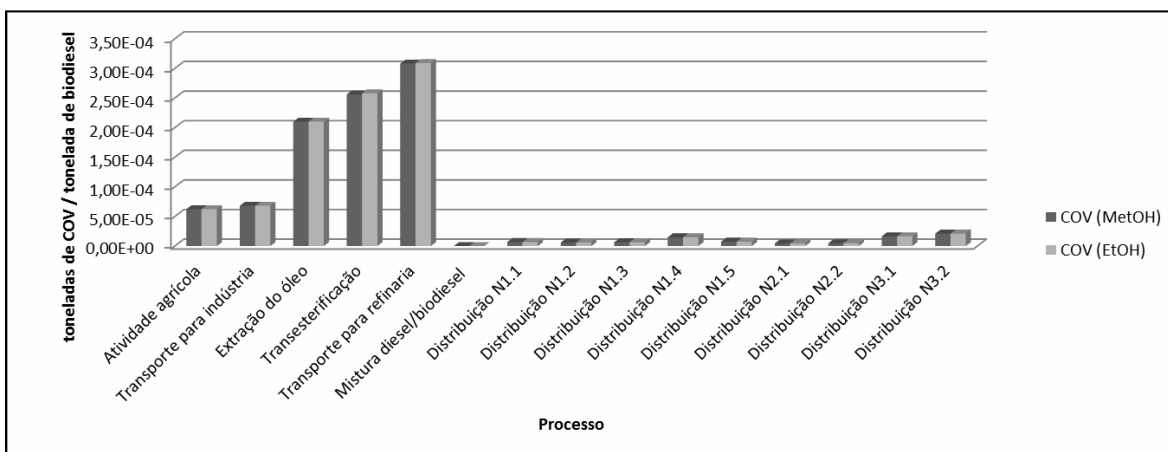


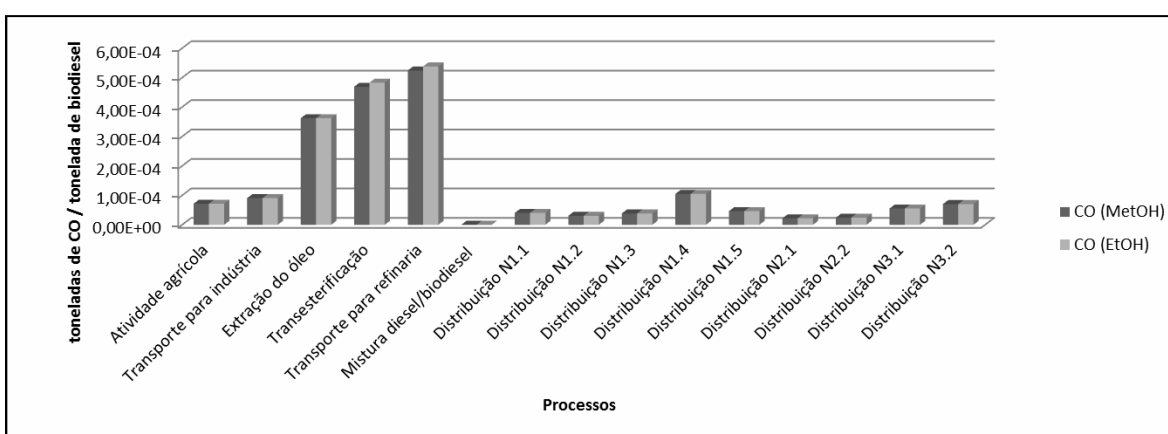
Figura 19 – Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis



Resultantes do processo de queima de combustíveis, o monóxido de carbono e os óxidos de enxofre e nitrogênio emitidos no ciclo de vida são predominantemente derivados do setor de transporte enquanto que os materiais particulados são originados da combustão realizada na indústria.

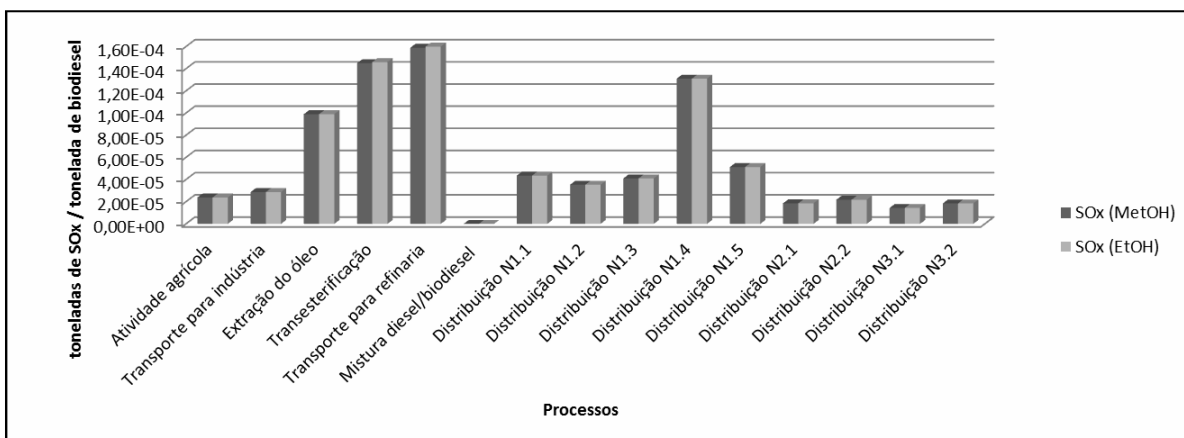
Semelhante à emissão de CO₂, o CO é liberado em maior quantidade no transporte via terrestre (Figura 20) e responsável por quase metade das emissões causadas pela atividade industrial (Figura 18).

Figura 20 – Emissões de Monóxido de Carbono (CO)



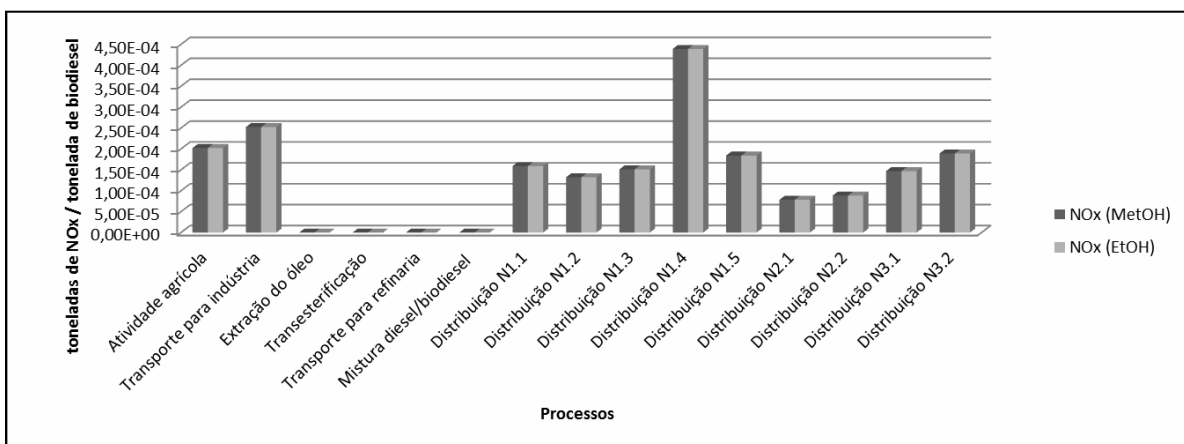
Os óxidos de enxofre por sua vez, se comportam de maneira oposta, liberando maior quantidade de gases através do transporte hidroviário. É possível distinguir essa relação comparando a emissão de algumas rotas de distribuição que possuem distancias semelhante, como por exemplo, a rota N_{2.2} com 300 km (via hidro) emite mais que as rotas terrestres N_{3.1} e N_{3.2}, mesmo percorrendo uma menor distancia (Figura 21).

Figura 21 – Emissões de Óxidos de Enxofre (SOx)



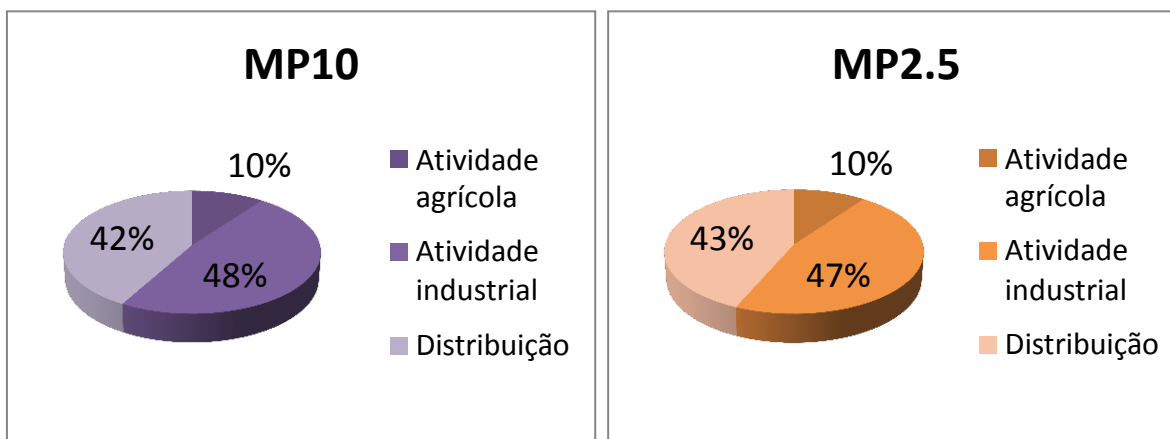
Apesar de os processos industriais serem responsáveis por realizar processo de combustão que alimenta maquinários e caldeiras, no que diz respeito à emissão de NOx a atividade industrial é nula (Figura 22). Em contrapartida, corresponde à 53% das emissões da atividade agrícola e 42% proveniente da distribuição do combustível (Figura 13).

Figura 22 – Emissões de Óxidos de Nitrogênio (NOx)



Como já foi dito anteriormente, os materiais particulados podem ser encontrados em maior proporção em regiões próximas a indústrias e são resultantes da combustão incompleta do diesel. A Figura 23 confirma essa afirmação e evidencia que o tamanho das partículas (2.5 e 10 μm) não interfere no panorama das emissões por categoria. Pode se destacar também que o setor de transporte não utiliza o biodiesel na atividade agrícola e nem para distribuição do combustível, e mesmo se usasse a mistura de 8% de biodiesel/diesel não seria suficiente para reduzir a porcentagem das emissões de material particulado para a atmosfera.

Figura 23 – Emissões de Materiais Particulados (MP10 e MP2.5)



5.4 COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS REALIZADOS

Esse estudo não apresentou resultados satisfatórios relacionados aos coeficientes de FER e NER (0.07 e 0.8, respectivamente) para a mistura de 8% de biodiesel de dendê e diesel convencional por se tratar de uma parcela muito pequena de energia renovável introduzida à energia fóssil. Já para o produto puro, mesmo não sendo considerada a utilização de coprodutos, atingiu valores de FER E NER de 4.9 e 0.9, respectivamente, sugerindo que algumas alterações no processo produtivo poderiam majorar o resultado para que o biocombustível atendesse o requisito mínimo para ambos fatores.

Para nivelar os resultados de acordo com a bibliografia considerou que o limite do sistema seria o “*cradle-to-gate*” (do berço a porta), ou seja, os resultados para o biodiesel puro (B100), que nessa análise vai até a etapa de transesterificação, excluindo a etapa de transporte para o refino (mistura) e distribuição do combustível, mesmo porque a localização geográfica da realização de cada estudo é também um fator preponderante para a análise do inventário.

SOUZA (2010) realizou 3 ACV's, sendo elas uma para o produção de cana-de-açúcar, outra para o etanol e por fim para o biodiesel de dendê, formando um sistema de produção conjunta do produto. Para a ACV do biodiesel, o inventário utilizou dados da Agropalma (indústria brasileira que atualmente não atua mais no

mercado de biodiesel brasileiro alegando a inviabilidade econômica do mesmo e exercendo a comercialização do óleo de dendê para outras aplicações), considerando agricultura já existente, portanto contabiliza apenas a quantidade de fertilizante necessária para a manutenção da lavoura enquanto que esse estudo ponderou as fases de crescimento e maturação do plantio, ou seja, a quantidade de insumos relativa a 4 anos. Outra diferença discrepante foi o total de energia consumida no ciclo de vida.

Os mesmos autores obtiveram o maior resultado de FER observado com 15,5 devido à alta redução em energia fóssil no estágio agrícola. Já para NER o resultado foi semelhante, pois o biodiesel puro de etanol deste estudo constatou uma não renovabilidade de 5% contra uma não renovabilidade de 3% para o sistema de produção conjunta. Em relação às emissões de GEEs, o B100 emite $4,05 \times 10^{-4}$ toneladas de CO_2 / Litro de biodiesel, que é similar à emissão do sistema tradicional da produção de etanol ($4,28 \times 10^{-4}$ t de CO_2 /L).

PLEANJAI e GHEEWALA (2009) alcançaram balanço positivo de NER de 3.58 indicando que é necessário menos energia fóssil para produzir biodiesel do que a quantidade de energia disponível no biodiesel. Nesse caso, as diferenças no inventário da ACV são os responsáveis pela divergência do resultado com o presente trabalho, pois não inclui a entrada de energia fóssil na atividade agrícola, utilizam resíduos e fibras como combustível para a geração de vapor e energia elétrica (adquiri apenas 3% da rede de distribuição) no processo industrial, e, o meio de transporte (assim como a distancia percorrida) também se desassemelha deste estudo.

SILALERTRUKSA e GHEEWALA (2012) ressalta a importância do uso de coprodutos ao comparar os resultados de NER e FER quanto a utilização ou não desses resíduos. Os valores de NER foram elevados de 2.07 para 4.30 e os de FER aumentam de 2.12 para 4.39 quando os recursos de saída foram reinseridos na cadeia de produção. A ACV deste, conta com um sistema de tratamento de digestão anaeróbia no processo industrial, onde o efluente tratado é aplicado na irrigação da agricultura e a captação de gases é manipulada para a produção de biogás. Além do reaproveitamento de coprodutos, a energia fóssil utilizada no transporte também pode ter influenciado no resultado em razão das distancias assumidas entre a

lavoura e a indústria totalizam 500 km de ida e volta que é menos da metade reportada para esse estudo (cerca de 1200 km).

Quando comparados com estudos prévios a respeito da utilização do dendê como matéria prima para a produção do biodiesel, percebe-se que para a obtenção de resultados mais convincentes seria necessário maior detalhamento de dados a serem obtidos possivelmente por meio de parcerias ou visita às próprias empresas, visto que esse estudo foi modelado com valores padrão do software, dados de referências bibliográficas e suposições feitas para a distribuição e comercialização do biodiesel.

6 CONCLUSÃO

A realização da ACV para o biodiesel a partir do óleo de dendê permitiu verificar que a transesterificação a partir de diferentes rotas (metílica e etílica) não apresentou diferenças significativas, ainda que o etanol seja considerado um recurso renovável procedente da biomassa. Para que os resultados sejam mais expressivos é necessário um melhor detalhamento do ciclo de vida de obtenção do metanol e etanol.

O biodiesel é apontado como alternativa para a redução das emissões de alguns gases de efeito estufa (CO_2 e CH_4) por se tratar de uma energia renovável que contribui para o sequestro de carbono, todavia verificou-se que outros gases com critérios poluentes (COV, CO, NO_x , MP10, MP2.5, SO_x) nocivos a saúde e ao meio ambiente também são emitidos durante a produção e distribuição do combustível. Sendo, portanto uma avaliação de extremo valor para o melhor entendimento de toda cadeia produtiva do biocombustível.

Ao analisar o ciclo como um todo, pode se dizer que o biocombustível atende ao fator de renovabilidade (FER) somente se for puro (B100) ou com mistura de até 65% para biodiesel/diesel (B65). A proporção de energia disponível com relação ao consumido no processo produtivo (NER) não pode ser inferior a 1:1, pois dessa forma o sistema é considerado ineficaz no que diz respeito ao ganho de energia líquida.

Em virtude do que foi mencionado, o setor mais impactante no ciclo do biodiesel seria o de transporte, visto que para as etapas industriais não foram incluídas o reuso dos subprodutos gerados, que diminuiria o consumo de energia fóssil e conseqüentemente elevaria a renovabilidade e eficiência energética do biocombustível. Em relação ao setor agrícola, o impacto está relacionado principalmente aos compostos nitrogenados utilizados como fertilizantes nas lavouras, uma medida cabível seria o emprego de insumos naturais, provenientes de compostagem com os resíduos da própria indústria.

O somatório das distâncias percorridas para a distribuição do combustível ultrapassa 6000 km, acentuando o consumo de energia fóssil entre vias terrestres e

hidroviárias para a região norte brasileira (região onde ocorre a obtenção do dendê), e com isso acredita-se que o óleo de dendê seria melhor aproveitado se fosse aplicado em outras atividades ao invés de ser destinado para a produção de biodiesel.

Dito isso, a aplicabilidade do biodiesel puro ou misturado em concentrações que não ultrapasse a renovabilidade e eficiência do combustível seria mais viável se utilizados em indústrias e na agricultura para a alimentação de motores estacionários e maquinários ou no transporte ferroviário como se faz países desenvolvidos, pois uma mistura de apenas 8% não é suficiente para a mitigação da emissão gasosa.

A ACV mostrou-se uma ferramenta eficaz para o completo entendimento do processo produtivo do biodiesel e abre oportunidades de melhorias no próprio processo quando estabelecidos objetivos a serem atingidos, neste caso o uso energético e emissões.

O software utilizado disponibiliza um manual que descreve as funcionalidades do mesmo passo-a-passo e vídeos tutoriais para que possa ser utilizado por iniciantes. É bastante didático, visual, recalcula os resultados a cada edição e foi uma ferramenta de suma importância para a execução deste trabalho.

Portanto, apesar destes resultados não encorajarem o uso do dendê para produção de biodiesel, uma vez que os critérios de renovabilidade e energia disponível não terem sido atingidos, estudos mais completos demonstram valores que viabilizam o uso do biodiesel de dendê como combustível.

Sugestão de estudos futuros

Com o objetivo de melhorar os resultados deste trabalho sugerem-se algumas revisões e modificações:

- Melhorar o modelo de ciclo de vida do metanol e etanol;
- Incluir o uso dos subprodutos no próprio processo para melhorar os resultados de NER e FER;
- Rever o ciclo de vida do Diesel convencional;
- Escolher outros modelos para distribuição do combustível para melhorar o desempenho do consumo de recursos não renováveis;
- Análise econômica;
- Inserção dos subprodutos;
- Comparação com outros combustíveis.

REFERÊNCIAS

ABOISSA Óleos Vegetais. **Óleo de palma**. Disponível em: <www.aboissa.com.br/produtos/view/609/oleo-de-palma.html>. Acesso em: 2 março 2017.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS - EPA. Emissão de gases de efeito estufa, 2017. Disponível em: <www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>. Acesso em: 03 junho 2017.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS - EPA. Visão geral técnica dos compostos orgânicos voláteis, 2017. Disponível em: <www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#main-content>. Acesso em: 04 junho 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Resolução Nº18 de 22/6/2007 - DOU 25/06/2007, 2007. Disponível em: <http://www.udop.com.br/download/legislacao/comercializacao/juridico_legiscalcao/res_18_anp_utilizacao_biodiesel_b100.pdf>. Acesso em: 20 março 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Resolução Nº45 de 25/08/2014, 2014. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>>. Acesso em: 3 março 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel**. [S.l.]. 2016.

ANGARITA, E. E. Y. et al. The energy balance in the palm oil-derived methyl ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. **Renewable Energy**, v. 34, p. 2905-2913, 2009.

ASSIS, B. D. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 53. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 14040**. [S.l.], p. 21. 2009.

BIODIESELBR. Rendimento de óleo das sementes, 2006. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/sementes/rendimento-sementes-oleo.htm>>. Acesso em: 06 abril 2016.

BORGES, J. L. B. et al. Balanço energético na cultura do dendê para a produção de biodiesel - parte agrícola. **III Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, Londrina, PR, 2007. 74-79.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental**. Sao Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Lei Federal Nº11.097, de 13 de janeiro de 2005, Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm>. Acesso em: 6 março 2017.

BRINGEZU, S. et al. Sustainable production and use os resources: assessing biofuels. **International panel for sustainable resource management: United Nations Environment Programme (UNEP)**, Paris, França, 2009.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n. 1, p. 77-85, 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios. Brasília: CNI, 2007. p. 82.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 21 maio 2016.

COSTA NETO, P. R. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de de soja usado em frituras. **Química Nova**, Sao Paulo, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

COSTA, R. E. D. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de palma para a condições do Brasil e da Colômbia**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá (MG), p. 195. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balço Energético Nacinal 2015 - Ano base 2014: Relatório Síntese**. EPE. Rio de Janeiro, p. 62. 2015.

ESTEVES, H. B. B.; BICALHO, L. N. Aspectos técnico-econômicos da logística da distribuição de combustíveis no Brasil. **Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis**, Rio de Janeiro, setembro 2008. 7.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; ESTEVAM, A. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3800-38089, dezembro 2014.

FERREIRA, S.; CARVAS, R. D. N. **Análise comparativa do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de dendê e etanol versus diesel de petróleo**. Universidade de São Paulo. Sao Paulo, p. 80. 2014.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Ecologia Industrial, 2006. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ecologia/files/2009/11/Ecologia-Industrial-M%C3%A1rcio.pdf>>. Acesso em: 22 abril 2016.

HAN, J.; ELGOWAINY, A.; WANG, M. **Development of tallow-based biodiesel pathway in GREET**. Argonne Natinal Laboratory. [S.l.], p. 10. 2013.

HAN, J.; ELGOWAINY, A.; WANG, M. **Update to Soybean farming and biodiesel production in GREET**. Argonne National Laboratory. [S.l.], p. 7. 2014.

INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES. **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards**. Dordrecht: Scientific background, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Avaliação de Ciclo de Vida, 2016. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/>>. Acesso em: 22 março 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS. **Planejamento Estratégico Tecnológico e Logístico para o Programa Nacional de Biodiesel**. Rio de Janeiro, p. 315. 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Biodiesel, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/pnpb.html>>. Acesso em: 22 abril 2016.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Dendê**. Manaus, Amazonas: Superintendencia da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA, v. 5, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 2017. Disponível em: <www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>. Acesso em: 02 maio 2017.

MOURAD, A. L. et al. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão, 2007. Disponível em: <http://cetea.ital.sp.gov.br/publicacoes/adi_25/files/assets/basic-html/page3.html>. Acesso em: 22 abril 2016.

MULLER, A. A. A cultura do dendê. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1980. p. 24.

PIVOTTO, F.; LAMANO, M. F.; NASCIMENTO, A. P. F. L. Análise do ciclo de vida do biodiesel no mercado brasileiro e quantificação das emissões liberadas pelo uso desse combustível. **Exacta**, Sao Paulo, v. 9, n. 3, p. 293-300, 2011.

PLEANJAI, S.; GHEEWALA, S. H. Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. **Applied Energy**, Bangkok, Thailand, v. 86, p. 209-214, maio 2009.

PLEANJAI, S.; GHEEWALA, S. H.; GARIVAIT, S. Environmental evaluation of biodiesel production from palm oil in a life cycle perspective. **Asian J. Energy Environ**, v. 8, n. 1 e 2, p. 15-32, 2007.

PORTAL ENERGIA. Energias Renováveis, 2015. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 02 junho 2017.
PRADHAN, A. D. S. et al. Energy Life-Cycle Assessment of Soybean Biodiesel Revisted. **ASABE**, v. 54, n. 3, p. 1031-1039, 2011.

QUEIROZ, A. G. **Avaliação do ciclo de vida de biodiesel de dendê produzido na Amazônia**. Universidade Federal do Pará. Belém, p. 317. 2011.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **InterfacEHS - Revista de Gestão Integrada em Saude do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 23, agosto 2006.

SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S. H. Environmental sustainability assessment os palm biodiesel production in Thailand. **Energy**, Bangkok, Thailand, v. 43, n. 1, p. 306-314, abril 2012.

SILVA, E. E. L. et al. Issues to consider, existing tools and constraints in biofuel. **Energy**, v. 36, n. 4, p. 2091-2110, 2011.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES - SINDICOM. Logística, 2017. Disponível em: <http://www.sindicom.com.br/#conteudo.asp?conteudo=78&id_pai=63&targetElement=leftpart>. Acesso em: 22 maio 2017.

SOUZA, J. D. Dendê. **Jornal CEPLAC Notícias**, 2000. Disponível em: <www.ceplac.gov.br/radar/dende.htm>. Acesso em: 22 abril 2016.

SOUZA, P. D. et al. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. **Renewable Energy**, São Paulo, Brasil, v. 35, p. 2552-2561, março 2010.

SOUZA, S. P.; ÁVILA, M. T. D.; PACCA, S. Life cycle assessment of sugarcane ethanol and palm oil. **Biomass & Bioenergy**, v. 44, p. 70-79, 2012.

YEE, K. F. et al. Life cycle assessment of palm biodiesel: revealing facts and benefits for sustainability. **Applied Energy**, Malaysia, v. 86, p. 189-196, abril 2009.

ANEXOS

Anexo A – Especificações do Biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1) (2)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m³	850 a 900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm²/s	3,0 a 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0 (3)	-	6304	EN ISO 12937

(Redação dada pela Resolução ANP Nº 51 DE 25/11/2015):

Contaminação Total, máx. (13)	mg/kg	24	15995	-	EN12662 (5)
Ponto de fulgor, mín. (4)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764	-	EN 14103 (5)
Cinzas sulfatadas, máx. (6)	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 (5) EN 14109 (5) EN 14538 (5)
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538 (5)
Fósforo, máx. (7)	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107 (5) EN 16294 (5)
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx. (6)	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número Cetano (6)	-	Anotar	-	613 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	(9)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448 -	664 -	EN 14104 (5)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15771 15908 (5) -	6584 (5) -	EN 14105 (5) EN 14106 (5)
Glicerol total, máx. (10)	% massa	0,25	15344 15908 (5)	6584 (5) -	EN 14105 (5)

Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,7	15342 (5) 15344 15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15342 (5) 15344 15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15342 (5) 15344 15908 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110 (5)
Índice de Iodo	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111 (5)
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (11)	h	6 (12)	-	-	EN 14112 (5) EN 15751 (5)

Nota:

(1) Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio. Em caso de disputa, o produto só poderá ser considerado como não especificado no Aspecto, caso os parâmetros teor de água e/ou contaminação total estejam não conformes.

(2) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade no Aspecto, deverão ser realizadas as análises de teor de água e contaminação total. O produto será reprovado caso pelo menos um desses dois últimos parâmetros esteja fora de especificação.

(3) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade, será admitida variação de +50 mg/kg no limite do teor de água no biodiesel para o produtor e de +150 mg/kg para o distribuidor.

(4) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.

(5) Os métodos referenciados demandam validação para os materiais graxos não previstos no método e rota de produção etílica.

(6) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da Tabela de Especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados à ANP pelo Produtor de biodiesel, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de material graxo, o Produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de materiais graxos utilizados.

(7) Em caso de disputa, deve ser utilizado o método EN 14107 como referência.

(8) O método ASTM D6890 poderá ser utilizado como método alternativo para determinação do número de cetano.

(9) Limites conforme Tabela II. Para os estados não contemplados na tabela o ponto de entupimento a frio permanecerá 19°C.

(10) Poderá ser determinado pelos métodos ABNT NBR 15908, ABNT NBR 15344, ASTM D6584 ou EN14105, sendo aplicável o limite de 0,25% em massa. Para biodiesel oriundo de material graxo predominantemente láurico, deve ser utilizado método ABNT NBR 15908 ou ABNT NBR 15344, sendo aplicável o limite de 0,30% em massa.

(11) O limite estabelecido deverá ser atendido em toda a cadeia de abastecimento do combustível.

(12) A estabilidade à oxidação a 110°C terá seu limite mínimo de 8 horas, a partir de 1º de novembro de 2014.

(13) Deverá ser utilizada somente a versão da norma de 1998 ou 2008 (EN 12662:1998 ou EN 12662:2008) (Nota acrescentada pela Resolução ANP Nº 51 DE 25/11/2015).

Fonte: ANP (2014)