



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA  
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**ALYSSON CHRISTIAN DIAS CUNHA**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO  
RESIDUAL DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNILAB**

**ACARAPE - CE**

**2016**

**ALYSSON CHRISTIAN DIAS CUNHA**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO  
RESIDUAL DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNILAB**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

**Orientador(a): Profa. Dra. Artemis Pessoa  
Guimarães**

**Co-Orientador (a): Profa. Dra. Maria  
Alexandra de Sousa Rios**

**ACARAPE - CE**

**2016**

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira  
Direção de Sistema Integrado de Bibliotecas da UNILAB (DSIBIUNI)  
Biblioteca Setorial Campus Liberdade  
Catalogação na fonte**

**Bibliotecário: Gleydson Rodrigues Santos – CRB-3 / 1219**

---

C977e

Cunha, Alysson Christian Dias.

Estudo da produção de biodiesel a partir de óleo residual do restaurante universitário da UNILAB. / Alysson Christian Dias Cunha. – Acarape, 2016.

65 f.; 30 cm.

Monografia apresentada do Curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira – UNILAB.

Orientadora: Profa. Dra. Artemis Pessoa Guimarães

Inclui figuras, tabelas e referências.

1. Biodiesel - Brasil. 2. Óleo residual. I. Título.

CDD 338.476655384

---

**ALYSSON CHRISTIAN DIAS CUNHA**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO  
RESIDUAL DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNILAB**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Artemis Pessoa Guimarães (Orientadora)  
Universidade da Integração Interacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios (Co-Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Aluísio Marques da Fonseca  
Universidade da Integração Interacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Aos meus pais,  
A minha família e  
Aos meus amigos.

## AGRADECIMENTOS

Sobretudo a Deus, por me abençoar a todo momento.

Aos meus pais Francisco Cicero Cunha Vieira e Francisca Dias Cunha, pelo apoio, dedicação e amor oferecido.

*In memoriam* a minha avó Maria Monteiro Dias, que faleceu no fim de minha graduação.

A minha namorada Amanda Larissa Lima Ramos, pela paciência, compreensão, companheirismo, motivação e pelo apoio irrestrito.

Aos meus colegas de graduação Antonia Mabrysa, Lidiana Rossi, Jairo Lima, Matheus Melo, Guilherme Menezes, Milton Honório, Marcelo Rodrigues, Pedro Henrique, Verônica Dantas, Mardônio Rodrigues, Tadeu Sampronha, Adriano Mendonça, Ivan Bandeira e Francisco Aldemário, por todo empenho, persistência e dedicação e pelo laço de amizade que foi construído.

Aos meus professores por se empenharem, dedicarem e se esforçarem por toda minha graduação para que fosse possível a realização deste sonho. Em especial, a Professora Dra. Artemis Pessoa Guimarães, por ter dado a oportunidade de realizar atividades de iniciação científica ao longo de minha graduação e orientar para a conclusão deste trabalho.

A minha professora co-orientadora Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios, que me proporcionou a realizar todas as atividades laboratoriais e o apoio científico possibilitando a realização deste estudo.

Ao LARBIO (Laboratório de Referências em Biocombustíveis) do NUTEC (Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará), que forneceram laboratórios e material para a realização dos experimentos, destacando-se o coordenador do LARBIO, Jackson Malveira.

A todos que fazem parte do corpo técnico do IEDS (Instituto de Desenvolvimento Sustentável), que sempre me ajudaram quando solicitados.

Enfim, a todos aqueles que acreditaram na minha vitória.

“Se ainda vale a matemática que me ensinaram, dois números negativos multiplicados resulta num número positivo. Espero que perda de tempo ao quadrado seja um grande ganho de tempo.”

(Humberto Gessinger)

## RESUMO

O uso de energia renováveis vem despertando interesse por todo o mundo, diminuindo diretamente a emissão de gases de efeito estufa a atmosfera terrestre. O desenvolvimento de biocombustíveis se tornou essencial para combater a emissão desses gases. Desta forma, o uso de novas fontes para produção de novos combustíveis vem se tornando frequentemente temas para novas pesquisas e investimentos. O presente trabalho teve como objetivo investigar as características físico-químicas do biodiesel produzido a partir de óleo residual proveniente do Restaurante Universitário da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) nos anos de 2014 e 2016, e analisar seu potencial para futuras produções. A UNILAB possui seus campi localizados no interior do estado do Ceará nos municípios de Redenção e Acarape. As amostras do óleo residual do restaurante universitário foram coletadas junto às empresas responsáveis pelo fornecimento de refeição do mesmo nos anos de 2014 e 2016 e comparou-se os seus índices de acidez obtidos. Por meio de uma reação de transesterificação, para produção de biodiesel, foi possível obter os parâmetros físico-químico das amostras de biodiesel produzido e compará-los. As análises de biodiesel obtidas foram comparadas com alguns parâmetros de qualidade adotados no Brasil e no exterior. Foram realizados análises como: teste de umidade, ponto de fulgor, massa específica, índice de saponificação, poder calorífico, índice de acidez, viscosidade, peróxido e cromatografia. A partir dos dados mensais do uso de óleo foi possível calcular e analisar o potencial para produção de biodiesel. Verificou-se que o óleo residual que sofreu mais processos de frituras se apresentava com menor qualidade, um elevado índice de acidez, necessitando de um processo de neutralização. De maneira geral, as amostras se apresentaram dentro da norma vigente no país, porém verificou-se que o biodiesel oriundo de óleo residual que não foi reutilizado várias vezes apresentou melhores resultados.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Parâmetros físico-químico. Óleo residual



## ABSTRACT

The use of renewable energy is arousing interest all over the world, directly reducing the emission of greenhouse gases to the Earth's atmosphere. The development of biofuels has become essential to combat the emission of these gases. So, the use of new sources for the production of new fuels has frequently become the subject-matter of new research and investment. This present study aims to investigate the characteristics physical-chemical of biodiesel produced from residual oil from the university restaurant at the Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) in the years of 2014 to 2016, and to analyse its potential to future productions. The UNILAB has its campus localized in small towns in the Ceará state, in Brazil, called Redenção and Acarape. Samples of residual oil from the university restaurant were collected from the companies responsible for providing the meal at these restaurants in the years 2014 and 2016. Then, its acid number obtained was compared. Through of a transesterification reaction for biodiesel production, it was possible to obtain the physical-chemical parameters of biodiesel samples produced and to compare them. The result of obtained biodiesel analyzes were compared with some quality parameters adopted in Brazil and abroad. analyzes were performed as: humidity test, flash point, specific mass, saponification index, calorific value, acid index, viscosity, peroxide and chromatography. From the monthly data on the use of oil, it was possible to calculate and analyze the potential for biodiesel production. It was verified that the residual oil that suffered more processes of frituras presented with lower quality, a high acidity index, requiring a process of neutralization. In general, the samples presented within the current standard in the country, but it was verified that biodiesel from residual oil that was not reused several times presented better results.

**Keywords:** Biodiesel. Physical-chemical parameters. Residual oil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	21
Figura 2 – Estrutura do consumo do setor de transporte .....	23
Figura 3 – Principais oleaginosas para produção de biodiesel .....	24
Figura 4 – Mecanismo da reação de transesterificação, onde R <sup>1</sup> , R <sup>2</sup> e R <sup>3</sup> são as cadeias do ácido graxo, e R <sup>4</sup> é o grupo alquil do álcool. ....	26
Figura 5 – Reação de transesterificação .....	27
Figura 6 – Reação de esterificação .....	28
Figura 7 – Craqueamento de triglicerídeo .....	29
Figura 8 – Reação de hidrólise .....	31
Figura 9 – Reação de esterificação .....	31
Figura 10 – Equipamento Karl fisher .....	37
Figura 11 – Equipamento FP93 5G2– Penkys-Martens .....	37
Figura 12 – Equipamento viscosímetro manual .....	38
Figura 13 – Equipamento IKA C200.....	40
Figura 14 – Equipamento Rancimat .....	41
Figura 15 – CG – FID (VARIAN 450 CG) .....	42
Figura 16 – Óleo residual antes e depois do tratamento.....	45
Figura 17 – Biodiesel da amostra de 2014 .....	46
Figura 18 – Reação de transesterificação da amostra de 2016 .....	47
Figura 19 – Separação da glicerina do biodiesel .....	47
Figura 20 – Lavagem com água destilada do biodiesel (2016).....	48
Figura 21 – Processo de secagem do biodiesel.....	48
Figura 22 – Estabilidade oxidativa do biodiesel de 2014.....	55
Figura 23 – Estabilidade oxidativa do biodiesel de 2016.....	55
Figura 24 – Cromatograma do biodiesel de 2016.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeção dos custos de investimentos de várias fontes renováveis (em €/kW), para os anos de 2015 e 2030.....	17
Tabela 2 – Uso do biodiesel na indústria brasileira.....	22
Tabela 3 – Teor de umidade. ....	49
Tabela 4 – Ponto de fulgor .....	50
Tabela 5 – Viscosidade cinemática 40 °C.....	50
Tabela 6 – Massa específica 20 °C. ....	51
Tabela 7 – Índice de acidez. ....	52
Tabela 8 – Índice de peróxido. ....	53
Tabela 9 – Índice de saponificação.....	53
Tabela 10 – Poder calorífico.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

€/kW	Euro por quilowatt
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CG	Cromatografia Gasosa
g	Gramas
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
HCl	Ácido Clorídrico
kg	Quilogramas
kg/L	Quilograma por litro
KOH	Hidróxido de Potássio
LARBIO	Laboratório em Referência em Biocombustíveis
mg	Miligrama
mL	Mililitros
MME	Ministério de Minas e Energia
NaOH	Hidróxido de Sódio
NUTEC	Fundação Núcleo de tecnologias do Ceará
PRODIESEL	Programa de Biodiesel
RU	Restaurante Universitário
TWh	TeraWatt hora
UNILAB	Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Energias renováveis</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>História dos biocombustíveis líquidos no mundo e no Brasil</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Situação atual da matriz energética brasileira</b> .....	<b>21</b>
<b>3.4</b>	<b>Principais oleaginosas para produção de biodiesel</b> .....	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Óleos e gorduras</b> .....	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>Principais processos para produção de biodiesel</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Processo de Transesterificação</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Processo de esterificação</b> .....	<b>27</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Processo de Craqueamento Térmico</b> .....	<b>28</b>
<b>3.6.4</b>	<b>Processos conjugados</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6.4.1</b>	<b>Transesterificação e Esterificação</b> .....	<b>30</b>
<b>3.6.4.2</b>	<b>Hidroesterificação</b> .....	<b>30</b>
<b>3.7</b>	<b>Estado da arte</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Aplicação do questionário</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Pré-tratamento do óleo e produção do biodiesel da amostra de 2014</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Produção do biodiesel da amostra de 2016</b> .....	<b>36</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise físico-química</b> .....	<b>36</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Índice de umidade</b> .....	<b>36</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Ponto de fulgor</b> .....	<b>37</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Viscosidade</b> .....	<b>38</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Massa específica</b> .....	<b>38</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Índice de acidez</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.6</b>	<b>Índice de peróxido</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.7</b>	<b>Índice de Saponificação</b> .....	<b>39</b>

4.4.8	Poder calorífico.....	40
4.4.9	Estabilidade Oxidativa .....	41
4.4.10	Cromatografia Gasosa (conversão da reação) .....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Análise do questionário da empresa responsável no ano de 2014.....	43
5.2	Análise do questionário da empresa responsável no ano de 2016.....	43
5.2.1	Estimativa para produção de biodiesel.....	44
5.3	Produção de biodiesel.....	45
5.3.1	Óleo residual de 2014 .....	45
5.3.2	Óleo residual de 2016 .....	46
5.4	Análise físico-química.....	48
5.4.1	Determinação do teor de umidade .....	49
5.4.2	Determinação do ponto de fulgor.....	49
5.4.3	Determinação do índice de viscosidade .....	50
5.4.4	Determinação da massa específica .....	51
5.4.5	Determinação do índice de acidez .....	51
5.4.6	Determinação do índice de peróxido.....	52
5.4.7	Determinação do índice de saponificação.....	53
5.4.8	Determinação do poder calorífico .....	54
5.4.9	Determinação da estabilidade oxidativa .....	54
5.4.10	Cromatografia - rendimento da reação.....	56
6	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
	APÊNDICE A .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, após a descoberta de que o petróleo é uma fonte de energia esgotável, passou a existir um grande aumento na preocupação em substituir os combustíveis fósseis por energia renovável, também por motivos ambientais. Após essa descoberta, em cerca de 7 anos, os preços dos barris de petróleo chegaram a triplicar (MEDEIROS, 2014).

Desse modo, para que o desenvolvimento não comprometa aspectos ambientais, sociais ou econômicos, vem sendo reavaliado e intensificado o uso de tecnologias de produção de energia provenientes de fontes renováveis, descobertas a mais de um século (ENCARNAÇÃO, 2008).

De acordo com Vecchia (2010), a ênfase na busca de oferta de energia catapultou questões essenciais para o pleno desenvolvimento social e econômico de uma nação, ou seja, a distribuição de energia a preços justos e para toda a população em um plano secundário. Dentro desse contexto, o biodiesel tem sido usado em adição ou substituição ao diesel nos setores de transportes e geração de energia em todo mundo, a fim de minimizar os impactos ambientais.

A matéria-prima mais abundante para produção de biodiesel no Brasil é o óleo de soja. Medidas governamentais têm incentivado o uso de outras fontes como a mamona e palma nas regiões semiáridas nordestinas. O elevado preço dos óleos vegetais tem tornado o biodiesel não-competitivo economicamente frente ao diesel de petróleo, sendo necessários programas e incentivos do governo (DIB, 2010).

Conforme Vecchia (2011), a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (Embrapa) avaliou o potencial de produção de oleaginosas no Brasil e concluiu que é possível produzir todo o diesel nacional e ainda gerar excedentes, sem expandir a fronteira agrícola, sem causar danos ambientais nem competir com a produção de alimentos.

Segundo DIB (2010), matérias-primas baratas como óleos e gorduras residuais têm atraído a atenção de produtores de biodiesel devido ao seu baixo custo, pois a reciclagem do óleo de fritura como biocombustível não somente retiraria um composto indesejado do meio ambiente, mas também permitirá a geração de uma fonte de energia alternativa, renovável e menos poluente.

Geralmente o óleo residual é descartado de forma errônea em pias e vasos sanitários. O descarte inadequado pode causar, além do entupimento dos encanamentos e

filtros das Estações de Tratamento de esgoto, o encarecimento do tratamento e ainda poluindo e desoxigenando a água (DIB, 2010).

O aproveitamento integrado de resíduos gerados na indústria alimentícia pode evitar o encaminhamento destes para aterro sanitário, permitindo o estabelecimento de novas alternativas econômicas e minimizando o impacto ambiental do acúmulo destes resíduos (SILVA, 2011). A utilização do óleo de cozinha usado na produção de Biodiesel proporciona várias vantagens como: reaproveitamento de um resíduo poluente, produção de uma fonte de energia limpa e renovável; diminuição da poluição do ar, das águas, do solo e do lençol freático; contribui para o crescimento econômico, entre outras (FREITAS et al, 2010).

A UNILAB (Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira) está situada no Ceará, nas cidades de Acarape e Redenção, e no estado da Bahia na cidade de São Francisco do Conde. Atualmente a UNILAB apresenta cerca de 4.216 estudantes (graduação, pós-graduação, presencial e a distância) e 309 técnicos administrativos que está dividido em todos os seus campus no estado do Ceará.

A universidade apresenta um Restaurante Universitário (RU), no qual toda a sociedade acadêmica realizam duas refeições diárias (almoço e janta), que é fornecida por uma empresa terceirizada contratada pela universidade por meio de licitações.

O RU diariamente produz grande quantidade de óleo residual, oriundo de seus processos para a produção das refeições fornecida na universidade. O descarte inadequado desse óleo é um grave problema, pois cada litro de óleo despejado no esgoto tem capacidade para poluir cerca de um milhão de litros de água.

Faz parte das diretrizes da universidade promover o conhecimento com seu entorno e circunstâncias, no qual os seus alunos possuem a capacidade de atender aos interesses e necessidades sociais por meio da criação ou implantação de mecanismos e estratégias de desenvolvimento econômico e social sustentável e de políticas públicas de inclusão social.

Diante da grande preocupação no cenário atual e baseando-se nas diretrizes da universidade, observa-se que é possível realizar trabalhos por meio do uso mais adequado e sustentável dos recursos disponíveis na UNILAB para geração de energia, desenvolveu-se esta monografia com o intuito de promover o uso e descarte adequado do óleo residual para produção de biodiesel. Neste contexto, a produção e uso do biodiesel



justifica-se como opção interessante para substituição/mistura ao diesel comum, com vantagens ambientais, sociais e tecnológicas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi produzir biodiesel a partir do óleo residual gerado pelo restaurante universitário da UNILAB e verificar o potencial do óleo para futuras produções.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Em específico, buscou-se realizar:

- a) Aplicar questionários sobre o uso e descarte do óleo residual junto a empresa responsável pelo RU;
- b) Executar etapas de pré-tratamento no óleo residual;
- c) Caracterizar o óleo residual;
- d) Obter biodiesel via reação de transesterificação;
- e) Avaliar os parâmetros físico-químicos do biodiesel produzido;
- f) Comparar os parâmetros físico-químicos das amostras de biodiesel produzidos.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Energias renováveis

De acordo com Hinrichs, Kleinbach e Reis (2011) energia é um conceito básico em todas as disciplinas das ciências e das engenharias. Um princípio muito importante é a energia como uma quantidade conservada, ou seja, a quantidade total de energia no universo é uma constante. A energia não é criada ou destruída, mas apenas convertida ou redistribuída de uma forma para outra, como já se sabe entender energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações.

Segundo Serra (2010), o investimento no uso de fontes de energias renováveis para produzir eletricidade, calor ou biocombustíveis para transportes, têm vindo aumentar rapidamente nos últimos anos.

As novas fontes de energias renováveis são primordiais no enfrentamento da crise das mudanças climáticas, pois o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o aumento populacional e a demanda de energia requerem a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento socioeconômico (FURTADO, 2010).

Ao nível da energia primária, e destacando o uso tradicional da biomassa, a quota mundial das energias renováveis aumentou de 7% em 2006 para uma perspectiva de 10% em 2030. Relativamente à produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, a sua quota passou de 18% em 2006 para 23% em 2030, ultrapassando gás natural e tornando-se na segunda maior fonte de produção de eletricidade, já em 2015 (SERRA, 2010).

Na Tabela 1 encontram-se os custos de produção de energia elétrica em função da tecnologia.

Tabela 1 – Projeção dos custos de investimentos de várias fontes renováveis (em €/kW), para os anos de 2015 e 2030.

Fontes de energias renováveis	2006	2015	2030
Hídrica	2,91 - 6,48	2,88 - 6,48	2,72 - 6,28
Biomassa e resíduos	2,43 - 7,15	2,24 - 5,71	2,05 - 5,03
Eólica on-shore	6,38 - 7,44	5,71 - 6,57	5,13 - 5,99
Eólica off-shore	7,25 - 8,40	5,99 - 6,86	5,80 - 6,76
Geotérmica	4,94 - 5,80	3,88 - 5,42	3,01 - 5,03
Concentração solar térmica	11,00 - 26,79	7,82 - 19,38	5,51 - 14,66
Solar fotovoltaica	23,71 - 49,62	12,74 - 26,79	8,62 - 18,61

Fonte: Serra (2010).

De acordo com observado na Tabela 1 verifica-se que com o decorrer dos anos o custo do uso de energias renováveis vem demonstrando um decréscimo, facilitando o seu desenvolvimento.

A Biomassa é uma das fontes de energia com maior potencial de crescimento nos últimos anos. Segundo estudos de 2007 do World Energy Council (WEC), mesmo com uma pequena participação mundial de cerca de 1%, esta fonte de energia já vem virando tendência como alternativa aos energéticos fósseis. Em 2005, os Estados Unidos produziu 56,3 TWh de energia elétrica oriundos da biomassa, respondendo por 30% do total mundial, seguido de Alemanha e Brasil, ambos com participação de 7,3% da produção (BRASÍLIA, 2015). O Brasil, por sua vez, vem avançando na utilização da biomassa como fonte de energia elétrica. Na relação das fontes internas em 2006, a biomassa com 3,7% só foi superada pela hidroeletricidade com 85,4%. Em 2008, haviam 302 termelétricas movidas à biomassa no país. Em março de 2015 o número total de usinas aumentou para 504 e corresponde a 9,2% da capacidade instalada (BRASÍLIA, 2015).

### **3.2 História dos biocombustíveis líquidos no mundo e no Brasil**

Em 10 de agosto de 1893 na localidade de Augsburg, Alemanha, o primeiro modelo do motor a diesel que obteve resultados satisfatórios foi criado por Rudolf Christian Karl Diesel (1853-1913), de quem recebeu este nome (VULTOS, 2012).

Segundo Knothe (2009), na exposição de Paris de 1900, a Companhia Otto apresentou um pequeno motor diesel que, por solicitação do Governo Francês, foi operado com óleo de amendoim. Sabe-se que o motor foi construído para consumir óleo mineral, foi alimentado e operou com óleo vegetal, sem que tivesse sofrido qualquer modificação técnica, provando que os motores Diesel podem trabalhar com óleo amendoim sem maiores dificuldades (KNOTHE, 2009).

O Brasil vem desenvolvendo pesquisas sobre a utilização de óleos vegetais como combustível, desde a década de 1920 (FERNANDES et al., 2015).

Por volta de 1933, no governo de Getúlio Vargas, foi criado o Instituto do Açúcar e Alcool (IAA). O instituto foi criado como forma de tentar beneficiar a produção de cana-de-açúcar. Nesse período várias estratégias políticas foram traçadas, a fim de

fornecer suporte ao etanol. Porém, a partir de 1945, o governo decidiu apoiar a nascente indústria automobilística e petrolífera nacional, deixando o etanol em segundo plano (TÁVORA, 2011).

Com a ocorrência da primeira crise do petróleo em 1973, na qual o preço do barril de petróleo se elevou significativamente, uma nova realidade foi imposta ao país. De acordo com TÁVORA (2011) o valor médio do barril de petróleo, em 1973, foi US\$ 3,88, ao passo que, em 1974, foi US\$ 12,55, um inacreditável aumento de 223,5%. O que demonstrou que o país era dependente da importação de petróleo, demonstrando falha em seu planejamento.

Diante a situação, o governo brasileiro em 1975 criou o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), visando substituir os veículos movidos à gasolina por outros movidos a álcool e dar uma maior estabilidade econômica no país, sofrida pela crise (TÁVORA 2011). Em 1977 começa-se a adição de 4,5% de álcool à gasolina.

Com base em Távora (2011), em 1979 eclode a segunda crise mundial de petróleo, como consequência carros a álcool hidratado (álcool com combustível) começam a serem utilizados em grande escala no país, ou seja, grandes montadoras passam a alimentar o mercado com essa nova opção, passando a ser obrigatório o uso de 15% de álcool anidro à gasolina (TÁVORA, 2011).

No dia 30 de outubro de 1980, foi anunciada a descoberta do PRODIESEL, no Centro de Convenções de Fortaleza (PARENTE, 2003). De acordo com Parente (2003), a primeira patente mundial de biodiesel e de querosene vegetal de aviação (PI8007957) foi registrada no Brasil pelo autor, mas atualmente já se encontra em domínio público.

O biodiesel é denominado como um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos (PARENTE, 2003).

Na década de 80 o governo brasileiro estabeleceu metas para o aumento para produção de álcool, cerca de 300 bilhões, sendo que já era realidade a adição de 20% de álcool anidro (TÁVORA, 2011). O país passou a investir em outras fontes de matéria-prima para a produção do álcool.

O PROÁLCOOL demonstrava ser um programa que teria uma trajetória arrebatadora de desenvolvimento. Porém em 1986 o preço do petróleo caiu pela metade, logo em um período que o país passava por uma grande produção de carros movidos a

álcool. De acordo com Távora (2011), outros fatores foram relevantes para que a acontecesse à derrocada do PROÁLCOOL, como crises e prejuízos para grandes empresas e descontentamento por parte dos proprietários dos automóveis (troca de peças, tempo perdido com aquecimento de carro para seu funcionamento).

Com base em Rodrigues (2007), em julho de 2003 foi criado por Decreto presidencial um Grupo de Trabalho Internacional (GTI), com o objetivo de analisar a viabilidade da produção e do uso do biodiesel no Brasil. Com os trabalhos encerrados concluiu-se que o país apresentava um potencial para a produção de biodiesel, pois possuía um alto potencial de produção de oleaginosas, matéria-prima para produção de biodiesel. Em 2003 chegando ao mercado brasileiro os primeiros carros flex-fuel (veículos que podem ser movidos a álcool ou à gasolina a qualquer taxa de mistura), causando grandes mudanças no setor de combustíveis do país (TÁVORA, 2011).

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), foi lançado em 6 de dezembro de 2004, regulamentado pela lei nº 11.097 de 2005, com o intuito de permitir a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira de forma sustentável, geração de emprego e renda e economia de divisas com a redução de importações de diesel (RODRIGUES, 2007). Com esse novo programa o estado partiu a ter metas de uso de biodiesel na matriz energética nacional.

Em 2008, foi lançada a mistura de 2% de biodiesel no diesel mineral, o chamado B2, e foi lançada em São Paulo, por iniciativa do presidente Luís Inácio Lula da Silva, a “Conferência Internacional sobre Biocombustíveis: os biocombustíveis como vetor do desenvolvimento sustentável” (TÁVORA, 2011).

Em julho de 2009, o país implanta o B4 (diesel com 4% de biodiesel) e em janeiro de 2010, inclui no mercado o B5 (diesel com 5% de biodiesel). O Governo brasileiro adianta a meta do ano de 2013 e sinaliza que tem interesse de aumentar o uso de combustível renovável associado ao consumo de diesel (TÁVORA, 2011).

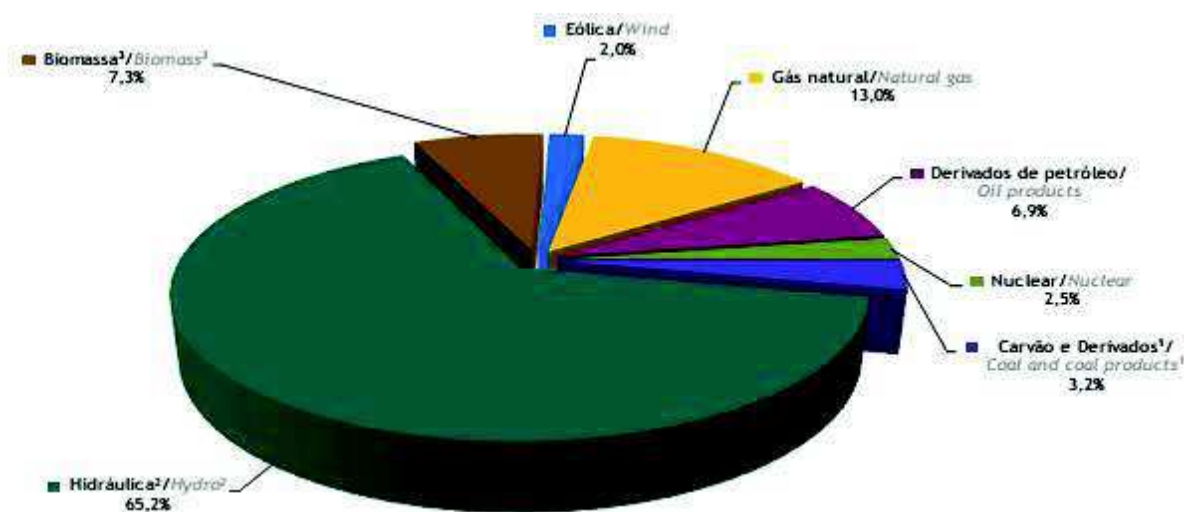
Com base em Brasil (2016) a lei nº 13.263 estabelece novos percentuais de adição obrigatória, volume, de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional: 8% (oito por cento, em até doze meses após a data de promulgação desta Lei), 9% (nove por cento, em até vinte e quatro meses após a data de promulgação desta Lei) e 10% (dez por cento, em até trinta e seis meses após a data de promulgação desta Lei).

### 3.3 Situação atual da matriz energética brasileira

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 590,5 TWh (TeraWatt hora) em 2014, resultando 3,4% superior ao ano de 2013 (BRASIL, 2016).

O Brasil é um país em que a maior parte da energia é utilizada vem de fontes renováveis, conforme pode ser visualizada na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2016).

De acordo com Brasil (2016), o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominante renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna, no qual as fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável.

Como pode ser observado na Figura anterior, a biomassa possui uma boa parcela no consumo interno de energia. Segundo Medeiros (2014), no decorrer dos últimos anos, a produção de biodiesel no Brasil vem se desenvolvendo de maneira a gerar novos empregos e renda, tanto na fase agrícola e nos mercados de insumos e serviços, bem como nas atividades de transporte, mistura e comercialização de biocombustíveis. Contudo, foi a partir do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) que o biodiesel avançou de forma extraordinária, tornando-se um instrumento de geração de riqueza e inclusão social importantíssimo.

A produção do biodiesel passou de 69 milhões de litros em 2006 para 2,7 bilhões de litros em 2011. Desde o lançamento do PNPB até o final de 2011, o Brasil produziu 8,3 bilhões de litros de biodiesel, reduzindo as importações de diesel em um montante de 5,3 bilhões de dólares, contribuindo positivamente para a Balança Comercial brasileira (MEDEIROS, 2014).

A Tabela 2 apresenta o consumo de biodiesel na indústria brasileira durante 2005 a 2014.

Tabela 2 – Uso do biodiesel na indústria brasileira

FLUXO (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PRODUÇÃO	1	69	404	1.167	1.608	2.397	2.673	2.717	2.917	3.420
VARIAÇÃO DE ESTOQUES, PERDAS E AJUSTES	0	0	0	-46	-50	-51	-126	36	-33	-29
CONSUMO TOTAL	1	69	404	1.121	1.558	2.347	2.547	2.754	2.885	3.391
TRANSFORMAÇÃO	0	0	0	54	70	121	55	121	105	557
CONSUMO FINAL	1	69	404	1.067	1.489	2.226	2.492	2.632	2.780	2.834
CONSUMO ENERGÉTICO	1	69	404	1.067	1.489	2.226	2.492	2.632	2.780	2.834
COMERCIAL	0	0	0	2	2	2	1	1	0	0
PÚBLICO	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0
AGROPECUÁRIO	0	0	0	164	226	323	334	347	347	365
TRANSPORTES	1	69	404	876	1.228	1.864	2.098	2.222	2.364	2.398
RODOVIÁRIO	1	68	396	858	1.202	1.825	2.039	2.161	2.304	2.338
FERROVIÁRIO	0	1	8	18	26	39	59	61	60	59
INDUSTRIAL	0	0	0	22	29	36	59	62	68	71
CIMENTO	0	0	0	1	2	3	4	4	4	4
FERRO-GUSA E AÇO	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	0	0	7	9	15	22	23	23	25
QUÍMICA	0	0	0	4	6	2	1	1	1	1
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	0	0	2	3	8	11	12	15	15
TÊXTIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAPEL E CELULOSE	0	0	0	2	3	0	7	7	8	10
CERÂMICA	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2
OUTROS	0	0	0	4	5	8	11	11	12	13

Fonte: Brasil (2016).

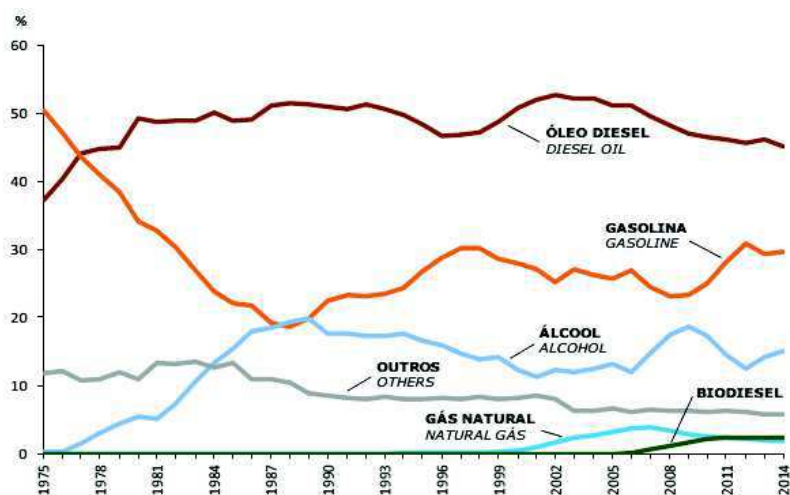
De acordo com Brasil (2016), para elaboração desta tabela admitiu-se a hipótese de que antes de 2008 todo o consumo de biodiesel foi no setor de transporte e no item “Transformação” na tabela indica a quantidade de biodiesel utilizada para produzir energia elétrica.

Como demonstrado na tabela anterior, Brasil (2016) apresenta-se na Figura 2 o desenvolvimento do consumo do biodiesel no setor de transporte no Brasil no decorrer dos últimos anos. Na Figura 2 observa-se o desenvolvimento do biodiesel em comparação com outros tipos de fonte para o setor de transporte.



Verifica-se que com aumento na mistura do biodiesel no diesel através de incentivos do governo federal nos últimos anos, o consumo do biodiesel no país vem se desenvolvendo principalmente no setor de transporte. Em 2008 o consumo de biodiesel no setor de transporte equiparou-se ao consumo de gás natural, representando cerca de 5% do consumo total de combustíveis pelo setor de transporte no Brasil.

Figura 2 – Estrutura do consumo do setor de transporte



Fonte: Brasil (2015).

### 3.4 Principais oleaginosas para produção de biodiesel

A grande biodiversidade e produtividade de grãos que podem ser utilizados na fabricação de óleo vegetais (soja, mamona, pinhão-manso, girassol, canola, amendoim, dendê, pequi, macaúba e outros) é um fator para o Brasil ser o grande destaque na produção de biodiesel, na qual o biodiesel apresenta semelhanças com o diesel mineral (SILVA, 2011).

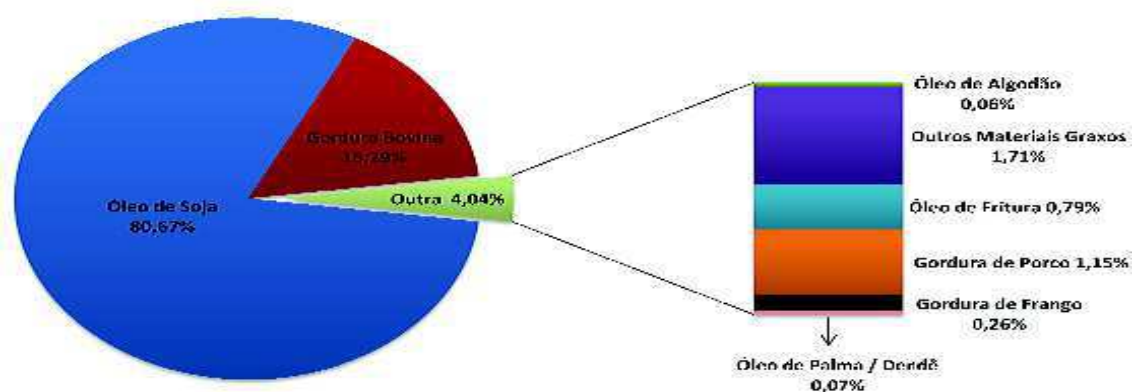
Segundo Luz, Mainier e Monteiro (2015), a oleaginosa mais produzida em no Brasil é a soja e o país é o segundo maior produtor de soja do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos. A produção da soja brasileira fechou o ano de 2012 com 66,68 milhões de toneladas, enquanto que a americana marcou 83,17 milhões de toneladas (Brasil, 2013). A soja é a escolha para a produção do biodiesel nacional, não sendo, porém, a que apresenta o melhor rendimento anual de óleo em tonelada por hectare.

Como se trata de uma fonte que é destinada à alimentação, e que o aumento do consumo do biodiesel implicará numa maior demanda por terras agricultáveis, é

importante que a oleaginosa escolhida para fins energéticos tenha um bom rendimento anual de óleo por área plantada. Além disso, seu óleo deve ter um bom rendimento em éster (LUZ; MAINIER; MONTEIRO, 2015).

A Figura 3 indica as principais matérias-primas para produção de biodiesel em território brasileiro.

Figura 3 – Principais oleaginosas para produção de biodiesel



Fonte: ANP (2016).

Com base nos dados apresentados pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) a soja é matéria-prima mais utilizada no país, em seguida a gordura bovina apresenta 15,29% do total da produção do biodiesel no país.

### 3.5 Óleos e gorduras

Segundo Silva (2011), óleos e gorduras são conhecidos como triglicerídeos, ou seja, triésteres formados por meio de três moléculas de ácidos graxos superiores e uma molécula do propanotriol (glicerina).

Os ácidos graxos são ácidos orgânicos lineares que diferem pelo o número de carbono, e também pela presença e quantidades de insaturações (ligações duplas entre os átomos de carbono) em sua cadeia hidrofóbica, ou ainda pela presença de algum grupo funcional na cadeia carbônica (SILVA, 2011). A distinção entre óleos e gorduras está baseada em suas propriedades físicas.

De acordo com Dib (2010), além dos óleos e gorduras virgens, constituem também matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos e gorduras residuais,

resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais. Segundo Parente (2003), as possíveis fontes dos óleos e gorduras residuais são:

- a) As lanchonetes e as cozinha industriais, comerciais e domésticas, onde são praticadas as frituras de alimentos;
- b) As indústrias nas quais processam frituras de produtos alimentícios, como amêndoas, tubérculos, salgadinhos e várias outras modalidades de petiscos;
- c) Os esgotos municipais onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, que torna possível a extração de óleos e gorduras;
- d) Águas residuais de processos de certas indústrias alimentícias, como as indústrias de pescados, de couro, etc.

Com base em Parente (2003), os óleos de frituras representam um potencial de oferta surpreendente, superando, as mais otimistas expectativas. Tais óleos têm origem em determinadas indústrias de produção de alimentos, nos restaurantes comerciais e institucionais, e ainda, nas lanchonetes. Os processos tecnológicos mais utilizados para a produção de biodiesel a partir de óleo de frituras consiste na transesterificação e esterificação.

### **3.6 Principais processos para produção de biodiesel**

#### **3.6.1 Processo de Transesterificação**

O processo de transesterificação consiste basicamente em uma mistura de óleo vegetal ou sebo bovino com metanol, associada a um catalisador, produzindo o combustível (ENCARNAÇÃO, 2008).

De acordo com Alves (2012), o processo de transesterificação também pode ser chamada de alcoolise e é caracterizada por uma reação onde um triacilglicerídeo (matéria-prima) reage com um álcool (preferencialmente de cadeia curta), na presença de um catalisador ácido ou básico, produzindo ésteres alquílicos e glicerol.

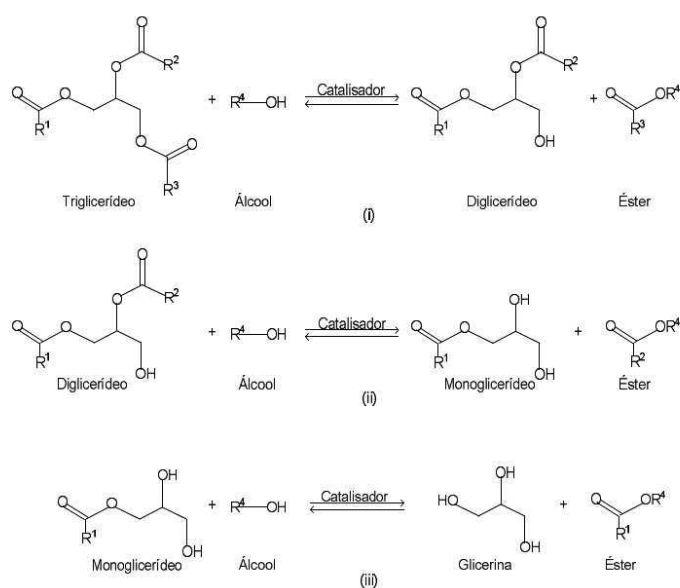
A reação pode ser catalisada por bases (NaOH, KOH, carbonatos ou alcóxidos), ácidos (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HSO<sub>3</sub>-R) ou enzimas (lipases) e catalisadores

heterogêneos (catalisadores sólidos). Os catalisadores mais eficientes para esse propósito são o KOH e NaOH, que são mais empregados comercialmente (GOMES, 2009). Os álcoois, o metanol e o etanol são os mais utilizados, principalmente o metanol por apresentar cadeia polar curta.

O mecanismo é composto por 3 (três) reações consecutivas e reversíveis, nas quais são formados diglicerídeos e monoglicerídeos como intermediários na equação. Sua estequiometria requer 1 (um) mol de triglicerídeo para 3 (três) moles de álcool, mas devido ao fato desta reação ser reversível, um excesso de álcool se faz necessário para aumentar o rendimento de produção dos ésteres alquílicos e permitir a sua fácil separação da glicerina formada (ALVES, 2012).

A Figura 4 apresenta o mecanismo das três reações consecutivas e reversíveis, no qual na primeira (I) a formação de diglicerídeos e éster através da ação do álcool ao triglicerídeo, logo após ocorre a formação de monoglicerídeos e éster (II) como produtos intermediários e, por fim, a formação dos produtos éster e glicerina (III).

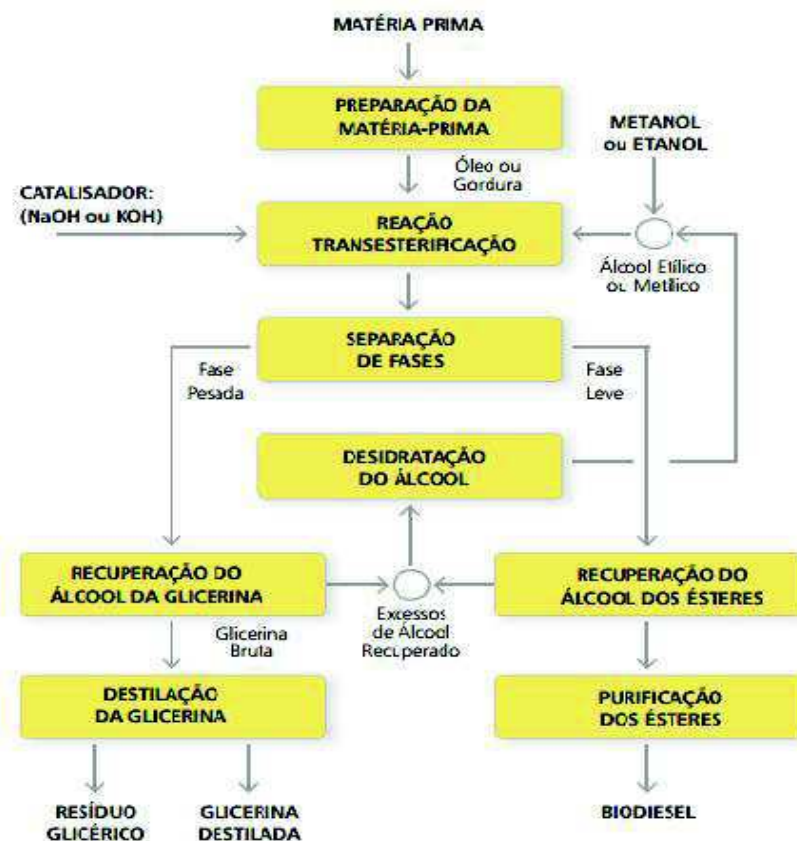
Figura 4 – Mecanismo da reação de transesterificação, onde  $R^1$ ,  $R^2$  e  $R^3$  são as cadeias do ácido graxo, e  $R^4$  é o grupo alquil do álcool.



Fonte: Alves (2012).

A Figura 5 representa um fluxograma que ilustra o processo de transesterificação.

Figura 5 – Reação de transesterificação



Fonte: Encarnação (2008).

Segundo Gomes (2009), para melhorar a taxa de reação e, portanto, o rendimento, faz-se uso de um catalisador.

Logo após o processo de transesterificação, tem-se no meio reacional uma mistura de ésteres, glicerol, álcool, catalisador e tri-, di- e mono glicerídeos. O co-produto glicerol, é recuperado devido seu valor como insumo para indústrias farmacêuticas e domésticas (GOMES, 2009).

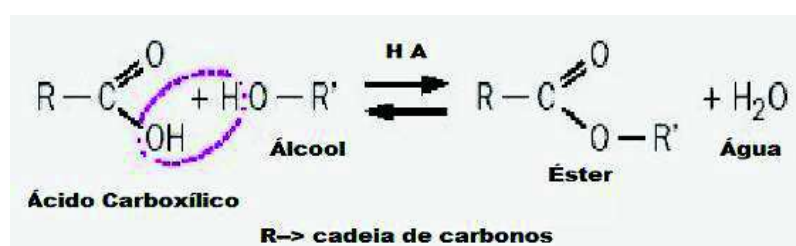
### 3.6.2 Processo de esterificação

Com base em Garcilasso (2014), a reação de esterificação é um processo reversível, no qual um ácido graxo reage com um álcool, produzindo como únicos produtos éster e água, portanto nessa reação não há formação de glicerina. Quando processada em temperatura ambiente, esta reação pode ser lenta, entretanto o emprego de aquecimento e/ou catalisador, que pode ser recuperado ao final da reação, se tornam úteis

para que o equilíbrio da reação seja estabelecido mais rapidamente (GARCILASSO, 2014).

Nesse método de reação, os ácidos graxos assumem grande importância para a produção de biodiesel, pois são consideradas rotas tecnológicas baseadas em matérias-primas de alta acidez (SILVEIRA, 2014). Nesse processo, as reações de um ácido graxo com um mono-álcool, formam ésteres. As reações de esterificação são catalisadas por ácidos. A Figura 6 mostra a reação de esterificação.

Figura 6 – Reação de esterificação



Fonte: Silveira (2014).

O ácido sulfúrico concentrado é o catalisador mais empregado, pois é um reagente de baixo custo, facilmente disponível, bastante ativo, além de possuir efeito desidratante fundamental no meio reacional. Entretanto, este catalisador possui ação corrosiva, apresenta problemas de controle e estocagem e, em condições particulares, pode reagir com a ligação dupla dos ácidos graxos insaturados (GARCILASSO, 2014).

De acordo com Garcilasso (2014), o processo de esterificação consiste em uma reação que necessita de elevadas temperaturas e pressão, além de tempos longos de reação.

### 3.6.3 Processo de Craqueamento Térmico

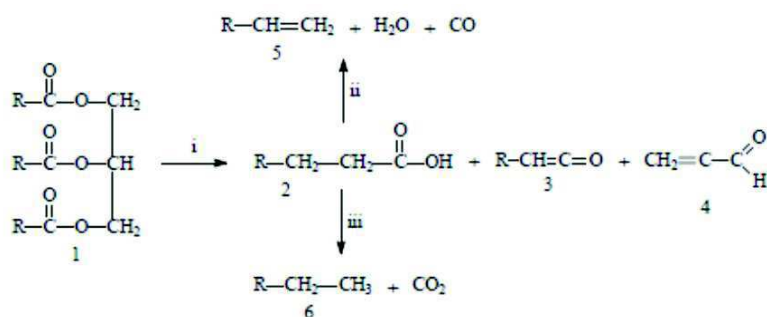
A pirólise ou craqueamento consiste de uma reação de quebra das cadeias carbônicas dos triésteres de origem animal ou vegetal pelo aumento da temperatura do sistema, resultando em uma mistura de compostos constituída, em sua maioria, por hidrocarbonetos lineares de diferentes pesos moleculares (ALMEIDA, 2015).

Segundo Almeida (2015) o craqueamento de triglicerídeos, distinguem-se dois processos baseados no mesmo princípio, mas com características diferentes: o craqueamento térmico, que ocorre na ausência de catalisadores, no qual o aquecimento o

único efeito responsável pela quebra das ligações químicas e o craqueamento catalítico, o qual é caracterizado pela presença de catalisadores, podendo proporcionar um melhor controle dos produtos obtidos, favorecendo determinadas rotas reacionais e conseqüentemente alterando a composição final dos produtos, permitindo maior seletividade e, portanto, maior rendimento dos produtos desejados.

Os produtos formados nesta reação, conforme a Figura 7, são hidrocarbonetos muito semelhantes ao petróleo, além de compostos oxigenados tais como ésteres, ácidos carboxílicos, aldeídos, etc (SILVA, 2011).

Figura 7 – Craqueamento de triglicerídeo



Fonte: Silva (2011).

Com base em Silva (2011), com o aumento da temperatura, agitação das partículas do sistema tende a aumentar assim como a vibração das diversas ligações químicas ali presentes. O processo de degradação térmica se dá quando a energia cinética dos átomos envolvidos em uma ligação química supera a energia potencial que os mantém unidos.

A reação de craqueamento ocorre a temperaturas superiores a 350° C, na presença ou ausência de catalisadores. Na primeira etapa, mostrada na reação 1 da Figura 7, que é chamada craqueamento primário, são formadas duas moléculas de ácidos carboxílicos, uma molécula de ceteno e acroleína. A mistura formada é extremamente instável nas condições reacionais e reage rapidamente, conforme mostrado na molécula i da Figura 7, formando novos ácidos carboxílicos, hidrocarbonetos, aldeídos e cetonas (ALMEIDA, 2015).

### 3.6.4 Processos conjugados

### 3.6.4.1 Transesterificação e Esterificação

Neste tipo de reação, inicialmente ocorre o processo de esterificação e em seguida o processo de transesterificação, no qual é indicado para sistemas que matéria-prima é rica em ácidos graxos. De início transformam-se os ácidos graxos em ésteres por esterificação e, logo depois é realizada uma transesterificação alcalina dos triacilglicerídeos. O controle desse processo conjugado está na separação da matéria-prima e sua inserção em um reator de esterificação ou transesterificação. Nessa rota, basicamente, seguem-se os processos tradicionais de esterificação, seguido da transesterificação (SUAREZ; MENEGHETTI, 2015).

Segundo Suarez e Meneghetti (2015), nesse processo é proposta a esterificação prévia de matérias-primas com altos índices de acidez (acima de 50 %), como no caso de óleos de peixe e residual, que são tratadas com um mono-álcool na presença de um catalisador ácido de Brønsted, como o ácido sulfúrico, a altas temperaturas.

Assim, obtém-se nessa etapa uma mistura de monoésteres com os triacilglicerídeos inicialmente presentes. A mistura obtida segue, após ser neutralizada e seca, para uma segunda etapa de transesterificação alcalina (SUAREZ; MENEGHETTI, 2015).

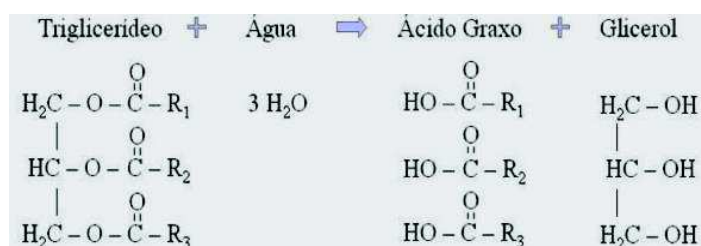
### 3.6.4.2 Hidroesterificação

A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de uma etapa de esterificação. A hidrólise consiste numa reação química entre a gordura ou o óleo com a água, gerando-se glicerina e ácidos graxos, no qual o produto final da hidrólise possui acidez superior a 99%. Portanto, ao invés de diminuir a acidez através de um refino, a hidrólise aumenta propositadamente a acidez da matéria-prima (SILVEIRA, 2014). A Figura 8 demonstra a reação do triglicerídeo.

De acordo com Silveira (2014), depois da hidrólise a glicerina é removida e os ácidos graxos gerados são então esterificados com um álcool que “neutraliza” a acidez presente. O biodiesel é gerado com elevada pureza, sem necessidade de etapas de lavagem que geram efluentes e elevado consumo de compostos químicos.



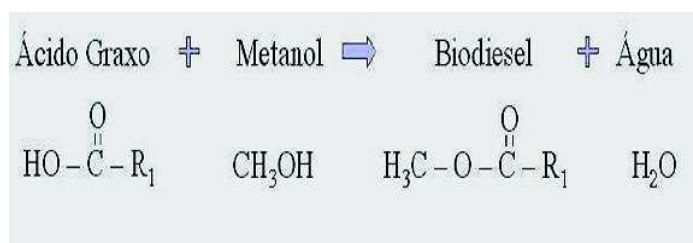
Figura 8 – Reação de hidrolise



Fonte: Silveira (2014).

Na Figura 9 observa-se a reação de esterificação após o processo de hidrolise.

Figura 9 – Reação de esterificação



Fonte: Silveira (2014).

Conforme Encarnação (2008), o biodiesel gerado não possui necessidade de etapas de lavagem que geram efluentes e elevado consumo de compostos químicos, sendo assim produzindo um biodiesel de elevada pureza. Na reação como subproduto também produz água, que retorna para o processo de hidrólise.

### 3.7 Estado da arte

De acordo com Morais *et al.* (2013), o método utilizado para produção de biodiesel a partir de óleo de fritura em suas pesquisas foi através de uma reação de transesterificação. Na reação empregou-se álcool metílico e hidróxido de potássio como catalisador básico. Na reação de transesterificação, a relação álcool: óleo foi de aproximadamente 6:1 e utilizou-se 1% em massa de catalisador básico. A reação foi realizada à uma temperatura ambiente, sob agitação constante por 1h.

Segundo Morais *et al.* (2013), a reação de transesterificação apresentam rendimentos variados, dependendo das condições aplicadas. Uma taxa de conversão elevada representa uma alta taxa de conversão dos triglicerídeos em monoalquilésteres,

com pequenas quantidades residuais de mono, di e triglicerídeos. Sendo assim, a densidade medida no biodiesel também é um parâmetro útil para se avaliar a eficiência da reação de transesterificação, uma vez que misturas contendo monoalquilésteres, mono, di e triglicerídeos – ou seja, indicando uma baixa taxa de conversão na produção do biodiesel.

Já Oliveira *et al.* (2013) relata que o processo de transesterificação consiste em uma reação simples, no qual utilizou-se KOH como catalisador por via metílica. O metanol e o triglicerídeo foram aquecidos a 65°C na presença de KOH por 1 h. Na sequência, uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em metanol foi adicionada sobre a mistura reacional, a qual foi mantida no aquecimento por 1 h adicional.

Com base em Fernandes (2011), o mesmo aplicou a reação de transesterificação em seus experimentos para a produção de biodiesel por conta o processo apresentar como objetivo principal a diminuição da densidade. A densidade diminui devido à transformação de um éster maior em outro de massa molecular menor.

Segundo Wang *et al.* (2006), pesquisou um método em duas etapas para obtenção do biodiesel a partir de óleo de fritura usado. Foram adotadas duas etapas para preparar o biodiesel a partir do óleo de fritura, cuja acidez apresenta valor de 75,92 mg KOH/g de óleo. Na primeira etapa de produção, os ácidos graxos livres presentes no óleo de fritura usado foram esterificados com metanol, utilizando sulfato de ferro como catalizador, e na segunda etapa, os triglicerídeos presentes no óleo de fritura foram transesterificados com metanol na presença do catalisador KOH. Os resultados mostraram que o sulfato férrico apresentou alta eficiência para esterificação dos ácidos graxos livres com metanol. A taxa de conversão dos ácidos graxos livres alcançou 97,22 % quando 2 % (em massa) de sulfato férrico foi adicionado à reação contendo metanol e triglicerídeos na proporção 10:1 (razão molar) e reagido a 95° C por 4 horas. O metanol foi evaporado a vácuo, e a transesterificação dos triglicerídeos remanescentes foi realizada a 65° C por 1 hora em um sistema contendo 1 % (massa) de hidróxido de potássio e razão molar de 6:1 de álcool em relação aos triglicerídeos. O produto final com 97,02 % de biodiesel, obtido após as duas etapas de catalisação foi analisado por cromatografia gasosa (WANG, et al., 2006).

Felizardo *et al.* (2006) estudaram a transesterificação de óleo de cozinha residual com o intuito de encontrar a melhor condição para produção de biodiesel. As reações de transesterificação ocorreram por 1h, tendo sido usado metanol e hidróxido de

sódio como catalisador. Vários experimentos foram realizados usando razões molares metanol/óleo entre 3,6 e 5,4 e razões em pesos catalisador/óleo entre 0,2 e 1,0%. Para óleos com um valor de acidez de 0,42 mg KOH/g, resultados mostraram que a razão metano: óleo de 4,8 e a razão catalisador: óleo de 0,6 % dão os maiores rendimentos de éster metil. Um aumento da quantidade de metanol ou catalisador parece simplificar separação/purificação das fases do éster metil, mostrado por uma redução da viscosidade e um aumento da pureza para valores superiores a 98 %.

De acordo com Santos *et al.* (2007) desenvolveram metodologias para a obtenção de ésteres etílicos (biodiesel) a partir dos óleos de soja residual e refinado. Realizou-se reações de transesterificação alcalina dos óleos de soja residual e refinado variando-se a porcentagem do catalisador hidróxido de sódio na reação (1 ou 2 %). Foi avaliada a influência do catalisador na quantidade dos ésteres produzidos (biodiesel), viscosidade, densidade e ponto de névoa. Os resultados demonstraram que uma maior quantidade de ésteres foi obtida, para ambos os óleos, quando empregado 2 % de NaOH nas reações de transesterificação.

Segundo Morandim *et al.* (2008), fez um estudo comparativo da produção de biodiesel proveniente de óleo de fritura e óleo de soja utilizando-se metanol via catálise básica. Inicialmente foi determinado o melhor catalisador, o etóxido de sódio em ambos os casos numa concentração de 0,8 % no caso do óleo de fritura e de 1% no caso do óleo de soja. Escolhido o catalisador, foram determinadas a melhor relação molar óleo: álcool (1:7 para o óleo de fritura e 1:8 para o de soja), a melhor temperatura (50 °C para o óleo de fritura e 60 °C para o óleo de soja) e o tempo de reação ideal (25 min para o óleo de fritura e 45 min para o óleo de soja), o que possibilitou um rendimento de 80 % no primeiro caso e de 94 % no segundo caso. Cabe salientar que o biodiesel obtido foi caracterizado através de análises físico-químicas (densidade, viscosidade, corrosão ao cobre, índice de acidez, glicerina total e pressão de vapor), estando todos os valores dentro dos limites ideais e que a porcentagem de conversão foi determinada via Cromatografia Gasosa (CG) e via titulação de óxido redução.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente realizou-se duas produções de biodiesel com o óleo residual oriundo do restaurante universitário da UNILAB. O primeiro biodiesel foi produzido utilizando-se óleo residual da empresa responsável pelo RU no ano de 2014. Já para a realização do segundo biodiesel utilizou-se o óleo proveniente do restaurante universitário no ano de 2016.

Verificou-se a qualidade do biodiesel produzido por meio de análises físico-químicas, no qual comparou-se os resultados com a norma que rege a qualidade do biodiesel no Brasil. Para produzir o biodiesel e verificar sua qualidade, utilizou-se a infraestrutura do laboratório do NUTEC (Fundação Núcleo de Tecnologias do Ceará), especificamente o LARBIO (Laboratório em Referência em Biocombustíveis).

### **4.1 Aplicação do questionário**

Junto as empresas responsáveis pelo restaurante universitário da UNILAB, realizou-se uma parceria nos anos de 2014 e 2016, com o intuito de coletar óleo residual gerado pela mesma para produzir biodiesel e analisar suas características.

Aplicou-se questionários junto à empresa, demonstrado no Apêndice A, e detectou-se a quantidade de óleo produzido, os tipos de óleos utilizados e o descarte para o óleo residual.

### **4.2 Pré-tratamento do óleo e produção do biodiesel da amostra de 2014**

Realizou-se um processo de degomagem no óleo residual utilizado, no qual usou-se uma massa de óleo de 461,61 g para 23,23 mL de água destilada. A água destilada foi aquecida em uma temperatura de 60 °C e em seguida misturou-se a água aquecida junto ao óleo. Deixou-se a mistura decantar por 30 minutos. Logo após, determinou-se o índice de acidez, utilizando-se a metodologia apresentada pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

Portanto, para determinar o índice de acidez foram pesados 2 g de óleo de cada amostra, em frasco erlenmeyer 125 mL. Adicionou-se, então, 25 mL de solução éter-álcool (2:1) neutra, e logo após, duas gotas do indicador fenolftaleína. As amostras foram

tituladas com solução de hidróxido de sódio 0,1N até o aparecimento de coloração rósea, indicando que a solução titulada estava neutra, obtendo-se assim, o volume de hidróxido de sódio utilizado na titulação para indicar a acidez das amostras.

A Equação 1 foi utilizada para a determinação do índice de acidez.

$$AC = \frac{Vxfx5,61}{P} \quad (1)$$

Onde:

AC = índice de acidez;

V = volume de NaOH gasto na titulação;

f = fator de correção do NaOH;

5,61 = KOH (g);

P = números de gramas da amostra (g).

Baseado em Lima *et al.* (2015), utilizou-se glicerina e KOH para neutralização do óleo. Nesta etapa de neutralização foi adicionada à gordura, uma solução aquosa de hidróxido de potássio (KOH), uma massa de 1,0329 g, também utilizou-se 5% em massa de glicerina (23,08 g) pura em relação a massa da gordura a ser neutralizada. A mistura foi mantida sob aquecimento a 55 °C e sob agitação constante durante 30 minutos. Ao final do processo, a mistura foi deixada em repouso para separação das fases gordura e sabão.

Novamente verificou-se o índice de acidez pela metodologia abordada anteriormente e logo após realizou-se a reação de transesterificação.

Para a reação de transesterificação usou-se 6,92 g de KOH dissolvidos em 161,56 mL de metanol em uma temperatura de 50 °C sob agitação. Em seguida, misturou-se o óleo na solução de KOH (55 °C) sob agitação durante 30 minutos.

Após a reação de transesterificação decantou-se a glicerina produzida e obteve-se somente o biodiesel. Lavou-se o biodiesel com água destilada aquecida (60 °C), até que a mesma se apresentasse neutra. Acrescentou-se sulfato de sódio no biodiesel e a filtrou em um papel filtro com auxílio de uma bomba a vácuo. Aqueceu-se (110 °C) o biodiesel em uma chapa durante 30 minutos.

### 4.3 Produção do biodiesel da amostra de 2016

Inicialmente realizou-se um processo de degomagem no óleo residual. Nesse processo usou-se uma massa de 200,959 g de óleo. Usou-se 10,05 mL de água destilada aquecida (60 °C), correspondendo 5% da massa do óleo. Após a mistura em uma balão de decantação, deixou-se a solução decantando por um tempo de 30 min.

Após a decantação retirou-se o óleo e determinou-se seu índice de acidez por meio da equação 1 e procedimento já mencionado anteriormente.

A massa utilizada para a produção do biodiesel foi de 165,77 g. Utilizou-se o hidróxido de potássio (KOH) como catalisador na reação, no qual determinou-se uma massa de 2,49 g e um volume de 58 mL de álcool metílico. Preparou-se uma solução com álcool e o catalisador até deixá-los uma mistura homogênea.

Antes de aplicar o metanol o óleo foi aquecido a 60 °C. Quando atingido a temperatura do óleo adicionou-se o metanol, deixando a solução reagir durante 1h em uma temperatura de 60 °C.

Logo após a reação de transesterificação deixou-se o biodiesel decantar durante 30 minutos e removeu a glicerina formada. O biodiesel passou lavagens com água destilada aquecida (60 °C) até se apresentasse neutra, no qual utilizou-se 16,6 mL de água correspondendo cerca de 10% da massa do óleo, e após a cada lavagem deixava-se o biodiesel decantar para remoção da água.

Para a secagem do biodiesel produzido, deixou-se o mesmo sobre agitação e aquecimento (65 °C) e aplicou-se um processo de desumidificação a vácuo com auxílio de uma bomba a vácuo durante 40 minutos.

### 4.4 Análise físico-química

Todas as análises foram realizadas em duplicada. Porém não foi possível realizar todas as análises físico-químicas para as amostras de biodiesel.

#### 4.4.1 Índice de umidade

Para a realização do índice de umidade das amostras de biodiesel usou-se o aparelho Karl Fisher, apresentado na Figura 10. Inicialmente foram pesados uma certa

quantidade de amostra de produto obtido (biodiesel) em uma seringa propicia para Karl Fisher. Em seguida injetou-se a seringa com a amostra dentro da solução padrão utilizada para este tipo de análise e determinou-se o teor de umidade da amostra.

Figura 10 – Equipamento Karl fisher



Fonte: Autor (2016).

#### 4.4.2 Ponto de fulgor

Na obtenção dos valores para o ponto de fulgor para o biodiesel oriundo do óleo residual de 2014 manuseou-se o equipamento FP93 5G2– Penkys-Martens demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Equipamento FP93 5G2– Penkys-Martens



Fonte: Autor (2016).

Primeiramente preencheu-se uma espécie de uma concha de metal, objeto pertencente ao aparelho, e logo após configurava-se o equipamento para a partida da queima do combustível.

#### 4.4.3 Viscosidade

Os índices de viscosidade dos dois biodiesel obtido foram determinados através de um viscosímetro manual, apresentado na Figura 12, em uma temperatura de 40 °C com um fator de 0,01598 para essa temperatura. Anotou-se o tempo no final de escoamento e o cálculo da viscosidade foi feito a partir da Equação (2).

$$V_c = tx0,01598 \quad (2)$$

Onde:

t = tempo de escoamento (s).

Figura 12 – Equipamento viscosímetro manual



Fonte: Autor (2016).

#### 4.4.4 Massa específica

Determinou-se a massa específica para os biodieseis produzidos através de um densímetro portátil.



#### 4.4.5 Índice de acidez

O índice de acidez foi realizado manualmente através do método abordado pelo Instituto Adolfo Lutz (1985) já citado.

#### 4.4.6 Índice de peróxido

Através dos métodos adotados pelo Instituto Adolfo Lutz (1985) determinou-se o índice de peróxido para o biodiesel do óleo de 2014. Pesou-se cerca de 5 g do óleo em um frasco erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 30 mL da solução ácido acético-clorofórmio 3:2 e agitou-se até a dissolução da amostra. Adicionou-se 0,5 mL da solução saturada de KI e a deixou em repouso ao abrigo da luz por exatamente um minuto. Acrescentou-se 30 mL de água, no qual titulou-se com solução de tiosulfato de sódio 0,1N, com constante agitação. Continuou-se a titulação até que a coloração amarela tenha quase desaparecida. Adicionou-se 0,5 mL de solução de amido indicadora e continuou a titulação até o completo desaparecimento da coloração azul. Preparou-se uma prova em branco, nas mesmas condições e a titulou.

De acordo com a Equação 3 determinou-se o índice de peróxido.

$$\frac{(A-B) \times N \times f \times 1000}{P} = \text{índice de peróxido} \quad (3)$$

Na equação, “A” representa o volume da solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação da amostra e “B” significa o volume da solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação do branco. O “N” a normalidade da solução de tiosulfato de sódio, o “f” fator da solução de tiosulfato de sódio e por fim o “P” o número de gramas do óleo.

#### 4.4.7 Índice de Saponificação

Para determinação do índice de saponificação do biodiesel produzido em 2014, pesou-se uma quantidade de amostra, de tal modo que sua titulação correspondesse de 45 a 55% da titulação do branco. Esta massa foi de 5 g. Adicionou-se 50 mL da solução alcoólica de KOH. Preparou-se um branco e procedeu ao andamento analítico, simultaneamente com a amostra. Conectou-se o condensador e o deixou ferver

suavemente até a completa saponificação da amostra (aproximadamente uma hora, para amostras normais). Após o resfriamento do frasco, lavou-se a parte interna do condensador com um pouco de água. Desconectou-se do condensador, adicionou-se 1 mL do indicador e o titulou com a solução IAL - 601 de ácido clorídrico (HCl) 0,5 M até o desaparecimento da cor rósea.

A Equação 4 representa a fórmula utilizada para calcular o índice de saponificação.

$$\frac{28,06xfx(B-A)}{P} = \text{índice de saponificação} \quad (4)$$

A letra “A” representa o volume gasto na titulação da amostra e o “B” na titulação do branco. O “f” indica o fator de solução de HCl e “P” o número de gramas.

#### 4.4.8 Poder calorífico

Para determinar o poder calorífico dos combustíveis foi utilizado calorímetro de bomba modelo IKA C200 apresentado na Figura 13. Após o preparo inicial da amostra o recipiente metálico foi pressurizado por uma bomba à pressão de 30 bar. Com o recipiente pressurizado levou-se ao calorímetro IKA C200. O recipiente com a amostra foi acoplado em um fio de ignição, chamado de fio de queima. O resultado foi obtido de forma automática no próprio equipamento.

Figura 13 – Equipamento IKA C200

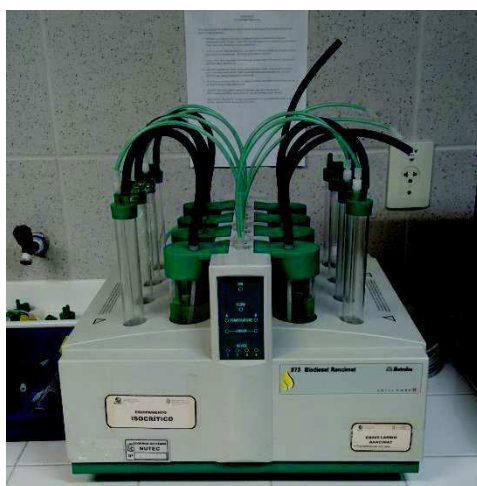


Fonte: Autor (2016).

#### 4.4.9 Estabilidade Oxidativa

Na determinação do tempo de oxidação das amostras de biodiesel, utilizou-se amostras de 3g, no qual foram submetidas à análise segundo a norma EN14112, método RANCIMAT. O funcionamento do Rancimat, o equipamento utilizado está demonstrado na Figura 14, consiste na passagem de fluxo de ar através da amostra mantida sob aquecimento constante, que para o biodiesel é 110 °C.

Figura 14 – Equipamento Rancimat



Fonte: Autor (2016).

#### 4.4.10 Cromatografia Gasosa (conversão da reação)

Utilizou-se um Cromatógrafo gasoso, GC-FID, da marca VARIAN, modelo 450 GC, demonstrado na Figura 15, para obtenção da conversão das amostras de biodiesel produzidos a partir do óleo coletado do RU em 2016. O Cromatógrafo era equipado com uma coluna CP-Wax 52 CB (30m x 0,32 mm x 025 µm). A temperatura do injetor, operado na condição sem divisão de fluxo, foi de 250 °C. Iniciou-se a temperatura com 60 °C mantendo nesta temperatura por 2 minutos, em seguida aumentando com uma taxa de 10 °C até atingir 200 °C, com aumento posterior de 5 °C/min até alcançar 240 °C (mantendo-se por 7 minutos).

Preparou-se a solução do padrão interno, nonadecanoato de metila em um balão volumétrico de 10 mL. Logo após diluiu-se até a marcação correspondente com

heptano. Pesou-se aproximadamente 51 mg da amostra em um frasco de vidro de 2 mL e adicionou-se 1 mL da solução padrão. Homogeneizou-se a mistura por 2 minutos

Injetou-se uma alíquota de 1 microlitro desta mistura no CG-FID. Todas as áreas dos picos cromatográficos foram considerados para o cálculo e o resultado expresso em percentual de ésteres totais.

Figura 15 – CG – FID (VARIAN 450 CG)



Fonte: Autor (2016).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Análise do questionário da empresa responsável no ano de 2014**

Segundo a empresa responsável pelo o fornecimento de refeições e o funcionamento do RU da UNILAB no ano de 2014, o óleo residual produzido pelo restaurante é armazenado em compartimentos e logo doado, mas antes de sua armazenagem a empresa o filtra, para a retirada de impurezas grosseiras.

O óleo comumente utilizado para as atividades alimentícias oferecidas no restaurante universitário é derivado de soja e milho, sendo que a troca de óleo acontece uma vez por semana em processos de frituras, ou seja reutilizando o óleo mais de uma vez.

Com base em questionários levantados junto à empresa responsável pelo RU da UNILAB, pode-se verificar que o restaurante produz um número elevado de óleo residual. Mensalmente cerca de 290 litros de óleo são produzidos no RU.

### **5.2 Análise do questionário da empresa responsável no ano de 2016**

O questionário aplicado em 2016 pela empresa responsável pelo RU foi respondido por seu tecnólogo em alimentos.

Tendo como base que o biodiesel pode ser obtido a partir de óleos ou gorduras residuais, procurou-se averiguar os tipos de matéria-prima utilizada no restaurante universitário e verificou-se que utiliza-se óleo de soja. Segundo a empresa os óleos não são reutilizados para futuras refeições.

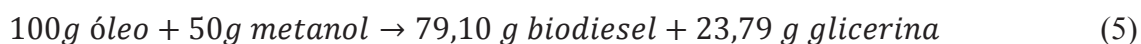
De acordo com a média de preços encontrada nos supermercados da região, o óleo de soja custa R\$ 3,29 (o recipiente de 900 mL), enquanto a caixa de 500 g da gordura vegetal hidrogenada é adquirida por R\$ 4,50. Isso pode ajudar a explicar o porquê da maior compra de óleo de soja, já que ele é mais barato e vem em maior quantidade do que a gordura, apesar de ser mais susceptível à rancidez oxidativa.

Em relação ao material descartado, apurou-se que os óleos são estocados com resíduos de alimentos e são doados para criadores de porcos. Vale ressaltar que o óleo não passa por nenhuma etapa de tratamento antes da estocagem.

Segundo Eder (1999) há provas de que animais de laboratório alimentados com óleos ou gorduras exaustivamente processados em fritura podem possuir alterações metabólicas, como perda de peso, diminuição do tamanho do fígado e dos rins, má absorção de gordura, aumento da taxa de colesterol no fígado e redução da fertilidade.

### 5.2.1 Estimativa para produção de biodiesel

Estimou-se a produção de biodiesel com o volume de óleo residual produzido mensal pelo RU em 2016. Para estimar a produção de biodiesel é necessário saber a quantidade de óleos e gorduras residuais que é gerada. Atualmente cerca de 250 L de óleo de soja são utilizados mensalmente para a realização das refeições para UNILAB. Com base no trabalho de Alvarenga e Soares (2010) seguiu-se os parâmetros propostos para realização da estimativa na Equação 5:



De acordo com o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento em uma instrução normativa definida e publicada no Diário Oficial de 2006, o óleo de soja deve possuir densidade entre 0,919 e 0,925 kg/L. Estes são os valores são referentes ao óleo novo, o uso altera sua densidade, mas utilizará uma valor de 0,922 kg/L como referência para o cálculo. Portanto, o volume de óleo descartado mensalmente é equivalente a 230,5 kg.

Fazendo-se a proporção em relação a 50 g de metanol utilizados na reação de Alvarenga e Soares (2010), para 100 g de óleo residual, tem-se 115,25 kg de metanol. Deve-se encontrar 182,3 kg de biodiesel e 34,7 kg de glicerina a partir da quantidade de óleo de soja residual, conforme visto na Equação 6.



Dessa forma pode-se verificar o potencial mensal para produção de biodiesel por meio do óleo residual do RU. Considerando o valor mínimo da massa específica

estipulado pela ANP para o biodiesel de  $850 \text{ kg/m}^3$ , obtém-se uma produção de 214,47 L de biodiesel mensal.

### 5.3 Produção de biodiesel

#### 5.3.1 Óleo residual de 2014

Após o processo de degomagem verificou-se o índice de acidez do óleo residual, apresentando um valor de  $1,8396 \text{ mg KOH/mg}$ , ou seja, apresentado um valor acima do recomendado para a produção de biodiesel. Segundo Dib (2010), antes de um óleo ser submetido a um processo de transesterificação para a produção de biodiesel, o óleo deve atingir um teor de acidez abaixo de 2% ( $1,0 \text{ mg KOH/mg}$ ), ou seja, óleo do restaurante apresentou um teor inferior recomendado para o processo de transesterificação sem um pré-tratamento específico. Com base nesse índice, utilizou-se KOH e glicerina com o intuito de neutralizar ainda mais o óleo, pois obteve-se um índice de acidez médio de  $0,97 \text{ mg KOH/g}$ .

A Figura 16 apresenta o óleo antes e depois do processo de degomagem e neutralização.

Figura 16 – Óleo residual antes e depois do tratamento



Fonte: Autor (2016)

O óleo neutralizado, como respondido no questionário aplicado, já havia passado por vários processos de frituras e apresentava restos de alimentos em sua composição.

No processo de transesterificação, inicialmente, quando adicionado o óleo junto à solução de KOH, visualizou-se formação de bolhas e a solução apresentou uma cor amarelada.

A lavagem do biodiesel foi mais lenta, pois o mesmo apresentava-se muito básico para que se neutralizasse. O aquecimento final do biodiesel se deu como forma de acelerar o processo secagem. O biodiesel final pode ser visualizado na Figura 17.

Figura 17 – Biodiesel da amostra de 2014



Fonte: Autor (2016)

O biodiesel demonstrado na Figura 17 não está tão límpido, pois tinha se adicionado sulfato de sódio ao óleo e logo tirou-se essa fotografia.

### 5.3.2 Óleo residual de 2016

Após o processo de degomagem verificou-se o índice de acidez do óleo. O óleo apresentou um índice de acidez de 0,44 mg KOH/g, constatando que o mesmo não precisaria passar por um processo de neutralização, como o óleo residual de 2014, pois já estava adequado para se aplicar na reação de transesterificação.

Realizou-se a reação de transesterificação, no qual inicialmente o meio reacional apresentou uma coloração alaranjado escuro, conforme a Figura 18.



Figura 18 – Reação de transesterificação da amostra de 2016



Fonte: Autor (2016)

Chegando ao fim da reação de transesterificação, deixou-se a mistura decantar durante 30 minutos, separando-se o biodiesel e a glicerina formada como apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Separação da glicerina do biodiesel



Fonte: Autor (2016)

A fase mais escura consiste em glicerina (mais densa) e a fase mais clara é o biodiesel formado.

Com o intuito de retirar os resíduos do catalisador utilizado na reação, lavou-se o biodiesel três vezes com água destilada aquecida. A Figura 20 demonstra uma das lavagens realizadas.

Figura 20 – Lavagem com água destilada do biodiesel (2016)



Fonte: Autor (2016)

Ao fim de cada lavagem verificava-se a água utilizada na lavagem, se estava realmente neutralizada com o uso de indicadores (fenolftaleína).

A Figura 21 apresenta o sistema e o processo utilizado para secagem do biodiesel produzido, com auxílio de uma bomba a vácuo e o antes e o depois do processo.

Figura 21 – Processo de secagem do biodiesel



Fonte: Autor (2016)

Utilizou-se esse sistema de desumidificação por ser rápido e eficaz. No momento inicial do processo o biodiesel se apresentava bastante turvo e após o processo o biodiesel está bem límpido com pouca umidade.

#### 5.4 Análise físico-química

A finalidade da reação de transesterificação, transformação de triglicerídeos em moléculas menores de éster de ácidos graxos é a diminuição da viscosidade, pois com a alta viscosidade do óleo vegetal acarreta problemas na sua aplicação em motores a diesel.

#### 5.4.1 Determinação do teor de umidade

A Tabela 3 demonstra um comparativo do índice de umidade obtido para o biodiesel produzido com a ANP/45 que regulamenta a qualidade do biodiesel no país.

Tabela 3 – Teor de umidade.

Amostras	Experimental (mg/kg)		Brasil ANP/45 (2014) (mg/kg) *max
	Biodiesel 2014	Biodiesel 2016	
1	160	70	
2	150	110	200
<b>Média</b>	155	90	

Fonte: Autor (2016)

Observa-se na Tabela 3 o teor de umidade obtido do biodiesel, no qual comparou-se os resultados entre as amostras de biodiesel produzido e analisou-se de acordo com a norma vigente no país a sua qualidade. Verificou-se que os valores obtidos estão inferior ao valor definido pela ANP. O biodiesel produzido com o óleo residual de 2016 apresenta um valor médio menor que o biodiesel oriundo do óleo de 2014.

#### 5.4.2 Determinação do ponto de fulgor

A Tabela 4 indica os valores obtidos para o ponto de fulgor do biodiesel produzido em 2014 e os comparou com norma brasileira vigente que é responsável por estabelecer os parâmetros de qualidade do biodiesel produzidas no país.

Tabela 4 – Ponto de fulgor

<b>Amostras</b>	<b>Experimental (°C) *máx</b>	<b>Brasil ANP (2014) (°C) *min</b>
1	120	
2	98	100
<b>Média</b>	109	

Fonte: Autor (2016)

Conforme a média da Tabela 4, o biodiesel produzido se apresenta dentro da norma regente em território nacional em relação à determinação do ponto de fulgor. Porém a segunda amostra apresentou um resultado inferior da aceitável, pois pode ter ocorrido algum erro no manuseio do equipamento. O ponto de fulgor representa a menor temperatura na qual um combustível libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável por uma fonte externa de calor. Não foi possível verificar o ponto de fulgor do biodiesel de 2016, pois o aparelho responsável pela análise se apresentava com defeitos.

#### 5.4.3 Determinação do índice de viscosidade

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para o índice de viscosidade, no qual foram obtidos de forma manual.

Tabela 5 – Viscosidade cinemática 40 °C.

<b>Amostras</b>	<b>Experimental (mm<sup>2</sup>/s)</b>		<b>Brasil ANP (2014) (mm<sup>2</sup>/s)</b>
	<b>Biodiesel 2014</b>	<b>Biodiesel 2016</b>	
1	4,01	3,83	
2	4,01	3,83	3,0-6,0
<b>Média</b>	4	3,83	

Fonte: Autor (2016)

Como pode ser observado, os valores obtidos para a viscosidade cinemática estão dentro da faixa estabelecida nos parâmetros estabelecidos pela norma brasileira. Por

ter sido realizado de forma manual, houve dificuldade de conciliar a partida do cronômetro com o início da realização do experimento. Os resultados obtidos para o biodiesel proveniente do óleo de 2016 apresentou valores menores do que o de 2014.

De acordo com Miyashiro et al. (2011), o biodiesel possui uma viscosidade menor que a dos óleos vegetais. A alta viscosidade do combustível pode afetar o funcionamento das bombas injetores dos veículos.

#### 5.4.4 Determinação da massa específica

Os valores encontrados para a massa específica do biocombustível produzido estão demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Massa específica 20 °C.

Amostras	Experimental (kg/m <sup>3</sup> )		Brasil ANP (2014) (kg/m <sup>3</sup> ) - 20°C
	Biodiesel 2014	Biodiesel 2016	
1	874	883,6	850-900
2	874	883,6	
<b>Média</b>	874	883,6	

Fonte: Autor (2016)

Pode-se observar na Tabela 6 que os valores encontrados são satisfatórios, pois estão dentro da faixa estabelecida pela ANP. Deve-se levar em consideração que a temperatura do ambiente oscilava entre 20 e 24 °C, dessa forma podendo influenciar na temperatura do biodiesel. O biodiesel obtido a partir do óleo residual de 2014 apresentou valores inferiores ao de 2016.

#### 5.4.5 Determinação do índice de acidez

A Tabela 7 demonstra os valores obtidos para o índice de acidez por meio do método abordado pelo Instituto Adolf Lutz (1985).

Tabela 7 – Índice de acidez.

Amostras	Experimental (mg KOH/g)		Brasil ANP (2014) (mg KOH/g) *máx
	Biodiesel 2014	Biodiesel 2016	
1	0,9	0,47	0,5
2	0,902	0,46	
<b>Média</b>	0,901	0,465	

Fonte: Autor (2016)

De acordo com a Tabela 7, os resultados obtidos para o biodiesel oriundo da matéria prima do RU de 2014 não foram satisfatórios, pois apresentaram valores acima que a norma estabelece, ou seja o biodiesel produzido é bastante ácido. Contudo, será necessário aplicar no biodiesel produzido métodos que possam diminuir o seu índice de acidez. Vale ressaltar que a matéria prima utilizada para a produção do combustível é rica em ácidos graxos livres, por se tratar de um óleo reutilizado.

O biodiesel produzido do óleo de 2016 ficou dentro da faixa do parâmetro estabelecido pela ANP, apresentando um índice inferior ao máximo permitido. Sabe-se que o óleo residual do RU do ano de 2016 não era reutilizado para futuras frituras, degradando menos o óleo.

#### 5.4.6 Determinação do índice de peróxido

Um dos procedimentos que podem ser utilizados para determinar-se a qualidade de um biocombustível, quanto a sua estabilidade oxidativa, é o teor de peróxidos que o mesmo apresenta. Entretanto ANP não utiliza esse parâmetro como obrigatório para verificação da qualidade do biodiesel. Verificando as bibliografias, conclui-se que a maioria dos autores não utilizam essa análise para verificação e confirmação de seus resultados. Quando produziu o biodiesel em 2014 não realizou-se a verificação dos principais parâmetros físico-químico abordados pela literatura para análise da qualidade do biodiesel. Então optou-se não realizar essa análise de índice de peróxido novamente com o biodiesel oriundo do óleo de 2016.

Portanto, utilizou-se o método descrito na metodologia, afim de determinar o índice de peróxidos presente nas amostras. A Tabela 8 indica os valores obtidos para esse parâmetro.

Tabela 8 – Índice de peróxido.

<b>Amostras</b>	<b>Experimental (meq/kg óleo)</b>
1	9,29
2	7,21
<b>Média</b>	<b>8,250</b>

Fonte: Autor (2016)

De acordo com a Tabela 8, verifica-se que o índice de peróxido obtidos das amostras. Quando os óleos vegetais são submetidos aos processos de fritura, acontecem muitas reações que degradam o material e afetam as qualidades funcionais desses óleos, alterando as propriedades físico-químicas. Já a mudança química mais relevante no processo é a rancificação, que pode ser hidrolítica ou oxidativa. Na rancificação oxidativa, tem-se a autooxidação dos triacilgliceróis com ácidos graxos insaturados pelo oxigênio do ar, formando-se hidroperóxidos e peróxidos. Estes, por sua vez, originam compostos voláteis, como aldeídos e cetonas.

#### 5.4.7 Determinação do índice de saponificação

Da mesma forma como foi explicado para os experimento do índice de peróxido, também optou-se não analisar o índice de saponificação do biodiesel do óleo de 2016. Os valores encontrados para o índice de saponificação estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Índice de saponificação.

<b>Amostras</b>	<b>Experimental (mg/g)</b>
1	176,15
2	175,24
<b>Média</b>	<b>175,70</b>

Fonte: Autor (2016)

O índice de saponificação é a quantidade de álcali necessário para saponificar uma quantidade definida de amostra. A sua determinação tem importância devido à relação entre o índice de saponificável e o comprimento da cadeia dos resíduos de ácidos graxos. O valor médio encontrado para o índice de saponificação foi 175,70 mg/g, segundo Alves, Mozer e Marques (2012) um valor próximo do valor limite para o óleo de soja, indicando que o material de partida pode ter sofrido reações de hidrólise, liberando os ácidos graxos correspondentes, em consequência da utilização como líquido de transferência de calor para os alimentos (fritura).

#### 5.4.8 Determinação do poder calorífico

O poder calorífico obtido para o biodiesel está demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Poder calorífico.

Amostras	Experimental (MJ/kg)	
	Biodiesel 2014	Biodiesel 2016
1	40,14	37,43
2	40,14	37,43

Fonte: Autor (2016)

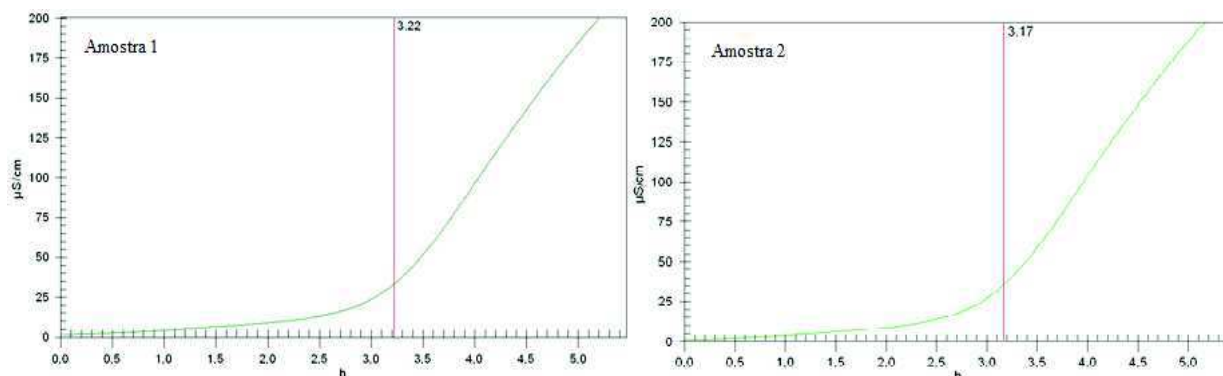
O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado. No caso de um combustível de motores, a queima significa a combustão no funcionamento do motor. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral (45244 kJ/kg), como pode-se visualizar na Tabela 10. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5%. Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao diesel mineral. O biodiesel é menos energético ao diesel mineral, pois não contém hidrocarbonetos aromáticos, elementos que conferem alto poder calorífico ao diesel. O que leva o biodiesel possuir ter menor poder calorífico que o diesel é o motivo de possuir ésteres alquílicos com diferentes níveis de saturação, tendo por base o valor mássico.

#### 5.4.9 Determinação da estabilidade oxidativa



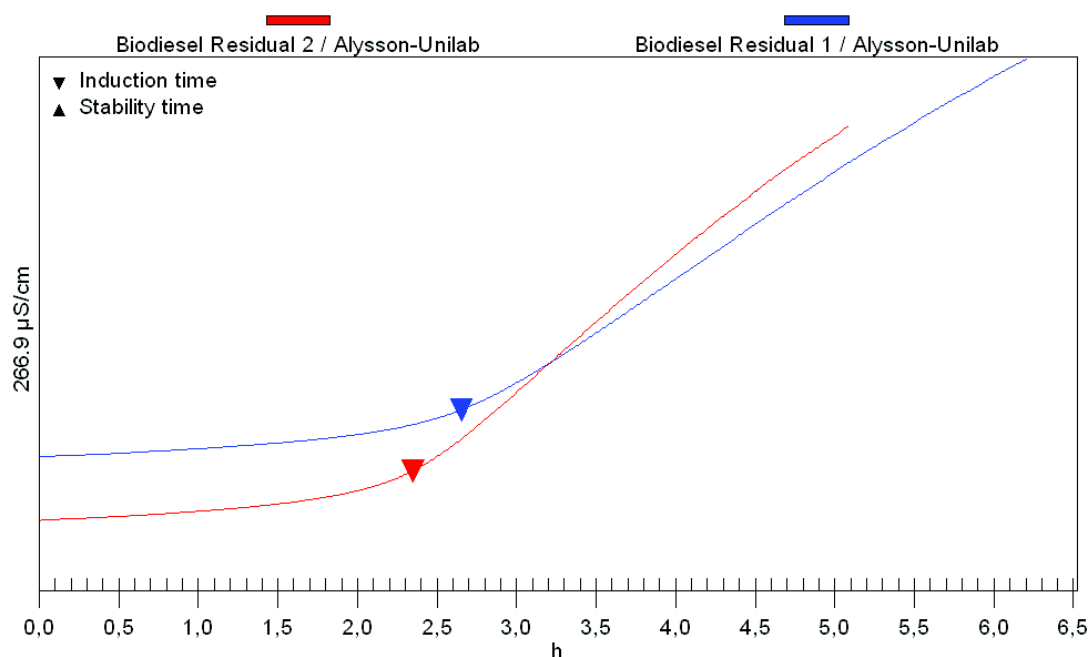
Os resultados da estabilidade oxidativa para as amostras de biodiesel de 2014 e 2016 estão demonstradas nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Estabilidade oxidativa do biodiesel de 2014



Fonte: Autor (2016)

Figura 23 – Estabilidade oxidativa do biodiesel de 2016



Fonte: Autor (2016)

De acordo com a norma que rege a qualidade do biodiesel no país, o resultado encontrado não está dentro dos parâmetros de qualidade, pois a norma estabelece um tempo de no mínimo 8h para que o combustível comece a se oxidar. Nenhuma das amostras de biodiesel produzidos apresentaram um tempo inferior ao estabelecido. Um

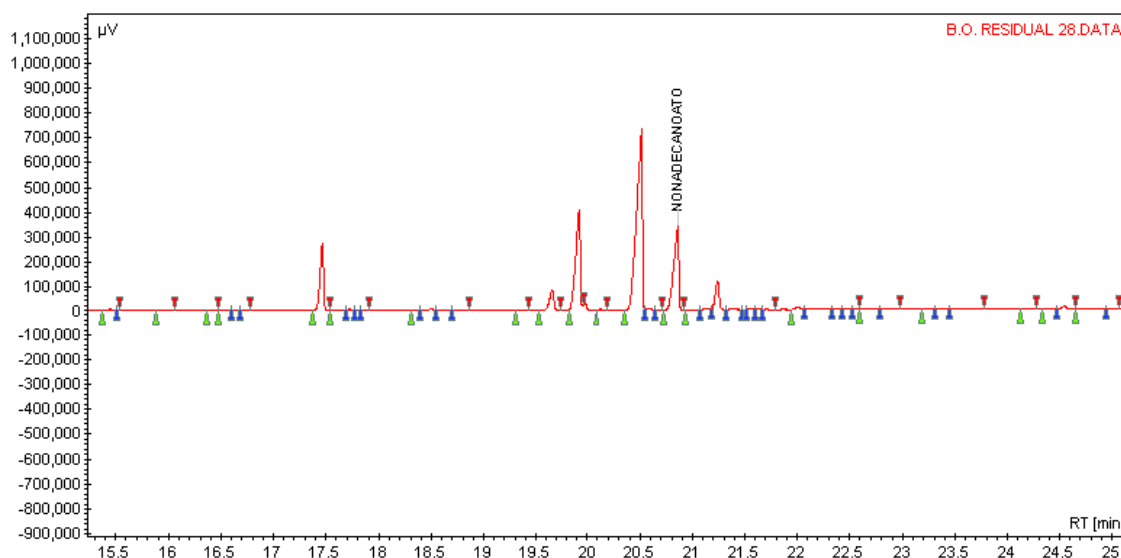
método que poderia ser adotado para melhorar a estabilidade oxidativa do biodiesel, seria utilizar oxidantes e realizar testes para se obter a melhor escolha.

#### 5.4.10 Cromatografia - rendimento da reação

A cromatografia foi somente realizada para amostra de biodiesel de 2016, pois quando produziu-se o biodiesel de 2014 o cromatógrafo do laboratório apresentava-se com defeitos.

A conversão obtido do biodiesel oriundo da amostra de óleo de 2016 foi de 89,13%. A Figura 24 demonstra o cromatograma obtido.

Figura 24 – Cromatograma do biodiesel de 2016



Fonte: Autor (2016).

A resolução nº 45 da ANP exige uma conversão de no mínimo de 96,5% de ésteres da reação para ser considerado apto para comercialização. Por ter apresentado uma conversão um pouco inferior, não se enquadra nos padrões, mas poderia ser utilizada outra metodologia na síntese variando o uso do catalisador com o álcool para melhorar rendimento.

## 6 CONCLUSÃO

Através de uma parceria firmada junto as empresas responsáveis pelo o RU da UNILAB, foi possível verificar os índices de acidez dos óleos residuais do restaurante nos anos de 2014 e 2016. Por meio do questionário aplicado junto as empresas responsáveis ao RU, verificou-se a quantidade de óleo utilizado mensalmente para produção das refeições e estimar a produção de biodiesel.

Analizou-se que o índice de acidez do óleo da empresa responsável pelo RU no ano de 2016 estava dentro da faixa limite para aplicação na reação de transesterificação. Já a acidez do óleo do restaurante em 2014 apresentou um valor acima do desejado para produção de biodiesel, pois estava degradada e necessitava de um processo de neutralização.

Verificou-se que o óleo que apresentou um índice de acidez elevado era reutilizado algumas vezes na preparação de alimentos e trocados semanalmente. A degradação do óleo e a formação de ácidos graxos estão diretamente ligados ao reuso do óleo para outros processos de frituras, impactando diretamente em seu índice de acidez.

Realizou-se análises físico-químicas das amostras de biodiesel produzidos e comparou-se esses parâmetros com alguns estabelecidos pelo o controle de qualidade da ANP/45. Constatou-se que em grande maioria estavam nos padrões estabelecido pela norma vigente. Entretanto o índice de acidez e estabilidade oxidativa do biodiesel produzido com o óleo do RU de 2014 apresentou valores fora do padrão da ANP/45. Necessitando de um processo mais eficaz para neutralizar a acidez e uso de antioxidantes para melhorar a estabilidade oxidativa. A estabilidade oxidativa do biodiesel de 2016 também apresentou-se tempo inferior do que exige a norma.

A conversão obtido para o biodiesel de 2016 apresentou-se inferior ao estabelecido pela norma, necessitando uma verificação na metodologia utilizada na reação de transesterificação.

Comparou-se os resultados das análises dos biodieseis produzidos e concluiu-se que o biodiesel oriundo do óleo residual de 2016 apresentou melhores resultados quando comprados com resoulição 45 da ANP. Vale ressaltar que a empresa responsável pelo RU na UNILAB em 2016 utilizava-se apenas óleo de soja e não reutilizavam o óleo para outros processos alimentícios.

O uso apenas de um óleo pela empresa em 2016 em seus processos de frituras, possibilitou um melhor rendimento na reação e o não reuso deste óleo residual permitiu que a matéria prima não passasse por um processo de neutralização para produção do biodiesel.

De modo geral, conclui-se que foi possível produzir biodiesel através do óleo residual do RU da universidade e verificou-se que a mesma apresenta um potencial para futuras produções de biodiesel. O biodiesel que apresentou melhores resultados foi o obtido do óleo residual da empresa responsável pelo RU no ano de 2016.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **ANP 45: Especificação do biodiesel**. 3 ed. Brasília: do, 2014.

ALMEIDA, Hélio da Silva. **Produção de biocombustíveis via craqueamento térmico-catalítico de resíduos sólidos de caixas de gordura com carbonato de sódio e lama vermelha ativada termicamente**. 2015. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

ALVARENGA, Betânia Mara; SOARES, Marcos Antônio. Potencialidade de produção de biodiesel por óleos e gorduras residuais na cidade de Itabira-MG. **Ceres**, Viçosa, v. 6, n. 57, p.721-729, 01 out. 2010.

ALVES, Carine Tondo. **Transesterificação de Óleos e Gorduras Residuais via rotas metílica e etílica utilizando o catalisador Aluminato de Zinco, em presença ou não de CO<sub>2</sub> supercrítico**. 2012. 213 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

ALVES, Ingrid Larissa; MOZER, Felipe; MARQUES, Fabielle Castelan. **Produção de biodiesel utilizando óleo de soja da cantina do IFES, campus cachoeiro de itapemirim-es**. 2012. Disponível em: <[http://pse.ifes.edu.br/prppg/pesquisa/jornadas/jornada\\_2009\\_2010/Pibiti/CET](http://pse.ifes.edu.br/prppg/pesquisa/jornadas/jornada_2009_2010/Pibiti/CET) - Fabielle Castelan Marques - Ingrid Larissa Alves.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2014.

ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel**, junho de 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=81533>>. Acesso em: 21 de julho de 2016.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 49 de 26 de dezembro de 2006. Aprovar o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Óleos Vegetais Refinados; a Amostragem; os Procedimentos Complementares; e o Roteiro de Classificação de Óleos Vegetais Refinados. **Instrução Normativa 49/2006**. Brasília, 26 dez. 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Nacional de Energia**. Brasília: Epe, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico de agroenergia 2012. Brasília. 2013.

BRASIL. Constituição (1988). Lei nº 13.263, de 24 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 24 mar. 2016.

BRASÍLIA. Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel. Ministério de Minas e Energia. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 19 jun. 2015.

DIB, Fernando Henrique. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador.** 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2010.

EDER, K. The effects of a dietary oxidized oil on lipid metabolism in rats. **Lipids Champaign**, n. 7, p. 717-725, 1999.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica.** 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FELIZARDO, P. *et al.*. Production of biodiesel from waste frying oils. **Waste Management**, v. 26, n. 5, p. 487-494, 2006.

FERNANDES, Fábio Matos *et al.* Biodiesel no mundo e no Brasil: situação atual e cenários futuros. **In:** Congresso sobre geração distribuída e energia no meio rural, 10., 2015, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Agrener, 2015.

FERNANDES, Wellington Douglas Ramos. **Produção de biodiesel a partir de óleo de fritura residual.** 2011. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

FREITAS, Caio Figueiredo de *et al.* Utilização do óleo de cozinha usado como fonte alternativa na produção de energia renovável, buscando reduzir os impactos ambientais. **In:** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 30., 2010, São Carlos. **Anais...** . São Carlos: Enegep, 2010. p. 1 - 11.

FURTADO, Marcelo de Camargo. **Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil.** 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GARCILASSO, Vanessa Pecora. **Análise entre processos e matérias-primas para a produção de biodiesel.** 2014. 373 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GOMES, Michelle Mendes da Rocha. **Produção de Biodiesel a partir da esterificação dos ácidos graxos obtidos por hidrólise de óleo de peixe.** 2007. 76 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico do. **Energia e Meio Ambiente.** 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz.** 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 245-246.

KNOTHE, Gerhard. A História dos Combustíveis Derivados de Óleos Vegetais. In: KNOTE, Gerhard et al. **Manual do Biodiesel**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p. 5-13.

LIMA, L. S. *et al.* Neutralização da acidez presente na gordura de cupuaçu (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) para fins de síntese de biodiesel. In: Congresso Brasileiro de Química, 55., 2015, Goiânia. **Anais...** Rio de Janeiro: Abq, 2015. p. 1 - 5.

LUZ, Cinthia da Silva Carreiro da; MAINIER, Fernando Benedicto; MONTEIRO, Luciane Pimentel Costa. Comparação de oleaginosas para a produção de biodiesel. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p.232-239, 01 jun. 2015.

MEDEIROS, Alanderson Rafael dos Santos. **Análise da viabilidade ambiental, econômica e operacional da produção de biodiesel a partir de microalgas**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Petróleo e Gás, Universidade Potiguar, Natal, 2014.

MORAIS, Verônica Santos de *et al.* COR ASTM: um método simples e rápido para determinar a qualidade do biodiesel produzido a partir de óleos residuais de fritura. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 4, p.587-592, 28 fev. 2013.

MORANDIM, A. A. *et al.* Estudo comparativo da produção de biodiesel proveniente do óleo de fritura e do óleo de soja. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 5, 2008, **Anais...** Varginha: [S.n.], 2008. p. 164-178.

MIYASHIRO, Carolina Sayury *et al.* Produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleos residuais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Santa Catarina, v. 1, n. 2, p. 63-76, 01 out. 2011.

OLIVEIRA, Diogo Müller de *et al.* Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 5, p.734-737, 06 mar. 2013.

PARENTE, José Expedito de Sá. Biodiesel: **Uma aventura Tecnológica num país engraçado**. 1. ed. [S.l]: Tecbio, 2003. Disponível em: < <http://www.xitizap.com/Livro-Biodiesel.pdf>>. Acesso em: 15 de out. de 2012.

RODRIGUES, Rodrigo Augusto. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: uma referência para a análise da formulação, implementação e avaliação de políticas públicas. **Revista de políticas públicas e Gestão governamental**, Brasília, n 1, 2007. Disponível em: <[http://www.anesp.org.br/userfiles/file/respblica/respblica6\\_1.pdf](http://www.anesp.org.br/userfiles/file/respblica/respblica6_1.pdf)>. Acesso em: 17 de out. de 2012.

SANTOS, T. *et al.* Estudo do processo de transesterificação alcalina dos óleos de soja residual e refinado visando à obtenção de biodiesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4. 2007, Varginha. **Anais...** Varginha: [S.n.], 2007. p. 1153- 1160

SERRA, Filipe Carreira. **Implementação de Fontes de Energia Renovável em Meio Urbano: O Caso do Bairro da Portela de Sacavém.** 2010. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Física Tecnológica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

SILVA, Marcilene Silva da. **Craqueamento Termocatalítico do óleo de buruti (*Mauritia flexuosa L.*), óleo de palma (*Elaeis guineensis*) e sabões do óleo de buriti (*Mauritia flexuosa L.*).** 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

SILVA, Tatiana Aparecida Rosa da. **Biodiesel óleo residual:** Produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização da reação. 2011. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

SILVEIRA, Sandro Dourado. **Produção de biodiesel de óleo de macaúba (*acrocomia aculeata*) via esterificação seguida de transesterificação metílica com catalisador básico.** 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SUAREZ, Paulo Anselmo Ziani; MENEGHETTI, Simoni Margareti Plentz (Ed.). **Parâmetros físico-químicos:** para os processos de produção de biodiesel. Brasília: CNPq, 2015.

TÁVORA, Fernando Lagares. **História e Economia dos Biocombustíveis no Brasil.** Brasília: Centro de Estudos da Consultoria do Senado, 2011. 78 p.

VULTOS, Daniel Alexandre Almeida Namorado dos. **Desenvolvimento Sustentável: A utilização do Biodiesel no Concelho do Seixal.** 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

VECCHIA, Rodnei. Energia, a base da vida. **In:** VECCHIA, Rodnei. **O meio ambiente e as energias renováveis:** instrumentos de liderança visionária para a sociedade sustentável. Barueri: Manoele, 2010. Cap. 1, p. 19.

WANG, Y. *et al.* Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. **Energy Conversion and Management**, v. 48, n. 1, p.184-188, 2006.



## APÊNDICE A

### 1.0 Identificação

Nome Fantasia: \_\_\_\_\_

CNPJ: \_\_\_\_\_

Nome do Entrevistado: \_\_\_\_\_

Cargo/Função do entrevistado: \_\_\_\_\_

Entrevistador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

### 2.0 Questionário

a) Quais são os tipos de óleos utilizados para a realização das atividades?

---

---

b) Os óleos são reutilizados?

---

---

c) Quantos litros de óleo são utilizados em um mês?

---

---

d) Onde são despejados os óleos utilizados?

---

---

e) Como ficam estocados os óleos utilizados (caso estoquem)?

---

---

f) Se despejados, os óleos passam por algum processo de tratamento?

---

---