

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**LAURA MARIA BARBOSA DE OLIVEIRA**

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DOS ÓLEOS VEGETAIS DE  
ALGODÃO E AMENDOIM: CARACTERIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO  
PROCESSO**

**FORMIGA-MG**

**2017**

LAURA MARIA BARBOSA DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DOS ÓLEOS VEGETAIS DE ALGODÃO  
E AMENDOIM: CARACTERIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Química do  
UNIFOR-MG, como requisito para obtenção  
do título de bacharel em Engenharia  
Química.

Orientador: Prof. Ms. Antônio José dos  
Santos Júnior

FORMIGA-MG

2017

O48 Oliveira, Laura Maria Barbosa de.  
Produção de biodiesel a partir dos óleos vegetais de algodão e  
amendoim: caracterização e otimização do processo / Laura Maria Barbosa  
de Oliveira. – 2017.  
45 f.

Orientador: Antônio José dos Santos Júnior.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química)-Centro  
Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Biocombustível. 2. Transesterificação. 3. Glicerina. I. Título.

CDD 621.3

LAURA MARIA BARBOSA DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DOS ÓLEOS VEGETAIS DE ALGODÃO  
E AMENDOIM: CARACTERIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Química do  
UNIFOR-MG, como requisito para obtenção  
do título de bacharel em Engenharia  
Química.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Ms. Antônio José dos Santos Júnior

Orientador



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

UNIFOR-MG



Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira

UNIFOR-MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

## LISTA DE FIGURAS

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Reação de transesterificação.....  | 19 |
| Figura 2 - Estrutura de ácidos graxos. ....   | 21 |
| Figura 3 – Estrutura do óleo vegetal. ....    | 24 |
| Figura 4 - Estrutura química do glicerol..... | 25 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Composição em ácidos graxos de alguns óleos e gorduras de origem vegetal..... | 20 |
| Tabela 2 – Principais aplicações do Glicerol.....                                        | 26 |
| Tabela 3 – Biodieseis produzidos.....                                                    | 29 |
| Tabela 4 – Resultados índice de acidez.....                                              | 35 |
| Tabela 5 – Resultado índice de iodo.....                                                 | 36 |
| Tabela 6 – Resultados pH.....                                                            | 37 |
| Tabela 7 – Resultados turbidez em NTU. ....                                              | 38 |
| Tabela 8 - Resultados turbidez em NTU. ....                                              | 38 |
| Tabela 9 - Resultados cor em mg Pt/L.....                                                | 39 |
| Tabela 10 – Resultados cor em mg Pt/L. ....                                              | 39 |

## RESUMO

O emprego do biodiesel como combustível tem se mostrado benéfico no ponto de vista ambiental e econômico. O método mais utilizado para sua obtenção é a reação de transesterificação, que consiste numa reação entre um álcool e um óleo na presença de catalisador alcalino, onde o óleo pode ser de origem animal ou vegetal. Nesse processo a glicerina é gerada como subproduto. Assim o presente trabalho visou à síntese de biodiesel com óleo de amendoim e óleo de algodão, por meio de transesterificação metílica e utilizando como catalisadores, o hidróxido de sódio e hidróxido de potássio. Após essa reação ocorreu a separação das fases biodiesel e glicerina seguida da purificação do biodiesel por meio da lavagem com água destilada, onde foi gerado um efluente líquido. Posteriormente, os biodieseis foram caracterizados quanto ao aspecto, índice de iodo, índice de acidez e teor de umidade de acordo com a Resolução nº 14, de 11 de maio de 2012 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A síntese de biodiesel proposta nesse trabalho é viável, visto que os resultados foram satisfatórios. Fez-se também uma caracterização e tratamento físico-químico do efluente para que o mesmo atenda as especificações do CONAMA para lançamento de efluente em corpos d'água. As análises de pH, turbidez e cor mostrou que o tratamento reduziu significativamente a cor e turbidez do efluente, porém o pH apresentou-se ácido.

**Palavras-Chave:** Biocombustível. Transesterificação. Glicerina.

## ABSTRACT

The use of biodiesel as a fuel has shown to be beneficial from an environmental and economic point of view. The most widely used method is the transesterification reaction, which consists of a reaction between an alcohol and an oil in the presence of an alkaline catalyst, where the oil may be of animal or vegetable origin. In this process the glycerin is generated as a by-product. The present work aimed at the synthesis of biodiesel with peanut oil and cotton oil, by means of methyl transesterification and using as catalysts, sodium hydroxide and potassium hydroxide. After this reaction, the biodiesel and glycerine phases were separated, followed by purification of the biodiesel by washing with distilled water, where a liquid effluent was generated. Afterwards, biodiesel were characterized in terms of appearance, iodine content, acidity index and moisture content according to Resolution no. 14 of May 11, 2012 of the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP). The biodiesel synthesis proposed in this work is feasible, since the results were satisfactory. A physical-chemical characterization and treatment of the effluent was also carried out, so that it meets CONAMA's specifications for effluent discharge into water bodies. Analyzes of pH, turbidity and color showed that the treatment significantly reduced the color and turbidity of the effluent, but the pH was acidic.

**Keywords:** Biofuel. Transesterification. Glycerin.



## SUMÁRIO

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                                  | <b>11</b> |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                                                   | <b>13</b> |
| <b>2.1. Objetivo Geral</b> .....                                            | <b>13</b> |
| <b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....                                     | <b>13</b> |
| <b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....                                               | <b>14</b> |
| <b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                                       | <b>15</b> |
| <b>4.1. Energia</b> .....                                                   | <b>15</b> |
| <b>4.2. Biocombustíveis</b> .....                                           | <b>16</b> |
| <b>4.3. Biodiesel</b> .....                                                 | <b>17</b> |
| <b>4.4. Matérias-primas</b> .....                                           | <b>20</b> |
| 4.4.1. Algodão .....                                                        | 21        |
| 4.4.2. Amendoim.....                                                        | 22        |
| <b>4.5. Biodiesel no Brasil</b> .....                                       | <b>23</b> |
| <b>4.6. Processos de produção do biodiesel</b> .....                        | <b>24</b> |
| <b>4.7. Glicerina</b> .....                                                 | <b>25</b> |
| <b>4.8. Possíveis utilizações para a glicerina gerada no processo</b> ..... | <b>26</b> |
| <b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                                          | <b>29</b> |
| <b>5.1. Produção do biodiesel</b> .....                                     | <b>29</b> |
| <b>5.2. Síntese do Biodiesel</b> .....                                      | <b>29</b> |

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.3. Propriedades avaliadas.....</b>         | <b>30</b> |
| <b>5.3.1 Aspecto.....</b>                       | <b>30</b> |
| <b>5.3.2 Índice de acidez.....</b>              | <b>31</b> |
| <b>5.3.3 Índice de iodo.....</b>                | <b>32</b> |
| <b>5.4. Tratamento das águas residuais.....</b> | <b>33</b> |
| <b>5.4.1 pH.....</b>                            | <b>34</b> |
| <b>5.4.2 Turbidez.....</b>                      | <b>34</b> |
| <b>5.4.3 Cor.....</b>                           | <b>34</b> |
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>           | <b>35</b> |
| <b>6.1 Aspecto.....</b>                         | <b>35</b> |
| <b>6.2 Índice de Acidez.....</b>                | <b>35</b> |
| <b>6.3 Índice de iodo.....</b>                  | <b>36</b> |
| <b>6.4 Umidade.....</b>                         | <b>36</b> |
| <b>6.5 Tratamento das águas residuais.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>7. CONCLUSÃO.....</b>                        | <b>41</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                         | <b>42</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A maior parte da energia consumida no mundo provém do petróleo, sendo que em 2015 o consumo mundial de deste aumentou 2%, totalizando 95 milhões de barris/dia, em comparação a 2014. No mercado brasileiro, no mesmo ano, as vendas de combustíveis derivados do petróleo totalizaram 141,811 bilhões de litros (BRASIL, 2016). Porém, o petróleo é uma fonte de energia escassa e que tem relação com as mudanças climáticas, por ser um grande poluente. Devido a esses problemas, grandes empresas e laboratórios investem em estudos e tecnologias com o objetivo de aperfeiçoar e desenvolver novas fontes de energia limpa e sustentável.

Nesse cenário, o biodiesel surgiu como uma fonte energética alternativa ao diesel de petróleo. O Brasil tem se mostrado como potencial produtor, devido a sua vasta biodiversidade em plantas oleaginosas. Além disso, o governo brasileiro tem incentivado sua produção, definindo um volume mínimo obrigatório da mistura de biocombustível ao diesel de petróleo.

O biodiesel é obtido, geralmente, por meio da reação de transesterificação, que consiste numa reação entre um álcool e um óleo (de origem animal ou vegetal) na presença de um catalisador (BRASIL, 2017). Nesse processo, a glicerina é gerada como um resíduo e com a crescente demanda de biodiesel, surgiu um desafio para as indústrias produtoras de biodiesel sobre qual destino oferecer para este subproduto.

“A glicerina, cujo nome químico é glicerol e a fórmula é  $C_3H_5(OH)_3$ , é estável em condições normais de uso e estocagem. Decompõe em temperatura acima de  $290^{\circ}C$ , formando um gás corrosivo denominado acroleína” (BERTOZZO; JÚNIOR; LARA, 2017).

A glicerina purificada é largamente empregada em indústrias, como, por exemplo, umectante em cosméticos, tabaco, alimentos, remédios, lubrificantes, plastificantes, espessantes e componentes de resinas alquídicas, muito utilizadas em tintas e vernizes, e até na fabricação de explosivos. (BERTOZZO; JÚNIOR; LARA, 2009).

A partir do exposto, o presente trabalho tem por finalidade apresentar as etapas de produção do biodiesel a partir do óleo de algodão e óleo de amendoim e avaliar se

os parâmetros do produto se encontram dentro das normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Sintetizar e caracterizar biodiesel a partir dos óleos vegetais de algodão e amendoim, em diversas proporções, a fim de que os mesmos se enquadrem aos parâmetros especificados pela Resolução ANP 14/2012, além de propor tratamentos para a glicerina gerada como subproduto desse processo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Produzir biodieseis metílicos a partir de óleo de algodão e óleo de amendoim e de misturas das matérias-primas através de transesterificação via catálise alcalina;
- Caracterizar os biodieseis produzidos utilizando parâmetros físico-químicos de análise estabelecidos pela (ANP): aspecto, índice de iodo, índice de acidez e teor de umidade;
- Comparar a eficiência dos catalisadores hidróxido de sódio e hidróxido de potássio na síntese do biodiesel;
- Propor tratamentos para a glicerina gerada como resíduo neste processo.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O presente trabalho tem como fundamento a produção e caracterização dos biodieseis obtidos a partir do óleo de amendoim e do óleo de algodão, de acordo com as normas da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Conjuntamente, analisar quais matérias-primas têm melhor desempenho e oferecer soluções para o reaproveitamento do glicerol gerado como subproduto no processo. A pesquisa em torno do biodiesel mostra que além de ser um excelente substituto ao diesel mineral, esse biocombustível é benéfico para o meio ambiente e para o aspecto econômico e social.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Energia

O conceito de energia relaciona-se com a capacidade de movimento ou transformação. Na física, a energia apresenta-se de diversas formas, como energia potencial, elástica, mecânica e cinética. Também está presente na química, na forma de energia potencial das ligações químicas, a chamada energia química e na combustão. Do ponto de vista econômico e tecnológico, a energia é associada aos recursos naturais e aos seus componentes que possibilitam o uso industrial da mesma (BUCUSSI, 2007.).

Quanto à classificação, a energia pode ser dividida em não renovável e renovável. A energia não renovável origina-se de recursos esgotáveis, como é o caso do diesel de petróleo. Já a energia renovável, é proveniente de fontes ilimitadas, como é o caso da eólica e solar (VICHI; MANSOR, 2009).

Desde a revolução industrial, o diesel de petróleo, assim como a madeira, tem sido largamente utilizados como fonte energética. Tal uso tem ocorrido com mais intensidade nos dias atuais, acarretando uma relevante crise energética mundial. Isso porque, quando consumido, o petróleo emite óxidos sulfúricos e nitrogenados, enxofre e outros resíduos agravando a poluição atmosférica. Além disso, o vazamento do óleo seja em rios, mares, oleodutos ou reservatórios causa danos à fauna e flora local, além do risco de contaminar o solo e até mesmo lençóis freáticos (SILVA, 2015)

No Brasil, a falta de investimentos no setor juntamente com o aumento do consumo de energia elétrica resultou numa crise energética sem precedentes. Com base nisso, o governo deu início a programas de incentivo às fontes de energias limpas e sustentáveis (ENERGIA INTELIGENTE, 2015).

Os programas de incentivo do governo brasileiro fizeram com que o País alcançasse a matriz energética mais renovável do mundo industrializado. Com 45,3% de sua produção oriunda de fontes alternativas como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. Para se chegar a esse índice, conta-se com usinas hidrelétricas, responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do

País. Vale lembrar que a matriz energética mundial em países industrializados é composta por 13% de fontes renováveis, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento (BRASIL, 2014).

No Brasil, assim como no resto do mundo os setores que mais utilizam energia são o industrial, transportes, residencial, energético, agropecuário, comercial e setor público. E mesmo o país destacando-se no uso de energias renováveis, o setor agropecuário, por exemplo, ainda utiliza cerca de 58% de energia oriunda de fontes não renováveis (ALBIERO, 2017).

#### **4.2. Biocombustíveis**

As crises de petróleo estimularam o desenvolvimento de processos de transformação de óleos, gorduras e derivados com propriedades físico-químicas semelhantes às dos combustíveis fósseis, tendo em vista à substituição total ou parcial destes (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2007). Com estas crises, a política dos maiores produtores mundiais de petróleo foi reduzir a produção mundial e elevar os preços, fazendo com que muitos países decidissem apostar em programas que até então tinham poucas chances de sair do papel. Assim a ideia de biocombustíveis ganhou força e está em crescimento até os dias atuais (LEIT; LEAL, 2007).

Biocombustíveis são combustíveis ecológicos produzidos a partir da biomassa (matéria orgânica), de produtos de origem vegetal ou compostos de origem animal e por isso são considerados renováveis. As principais fontes empregadas mundialmente são a cana-de-açúcar, o milho, a soja, semente de girassol, entre outras. A partir destas fontes obtém-se biocombustíveis, como álcool, etanol e biodiesel. Por serem biodegradáveis, os biocombustíveis provocam menor impacto à natureza (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017).

Os biocombustíveis não contribuem com o aumento do efeito estufa. Por isso, são tão importantes na matriz energética, já que os gases gerados na sua queima são reabsorvidos no crescimento da safra seguinte e em decorrência disso, há um equilíbrio entre a emissão e a absorção de poluentes. Além disso, o etanol e o biodiesel, que são biocombustíveis que contêm oxigênio em sua composição, auxiliam na redução das



emissões de monóxido de carbono (CO) quando utilizados juntamente com os combustíveis fósseis. Reduzindo-se essas emissões, conseqüentemente reduz-se também a poluição atmosférica local (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017).

O extenso território nacional e o clima propício favorecem o cultivo das matérias-primas fundamentais na produção de biocombustíveis, o que tem gerado investimentos em políticas públicas na área social para usufruir do potencial de cada região, para geração de renda e empregos e um desenvolvimento sustentável. Os dois principais biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol e o biodiesel (BRASIL, 2017).

O etanol, cuja fórmula é  $C_2H_5OH$ , pode ser obtido por diversas formas e tem como matérias-primas vegetais ou hidrocarbonetos. Sua primeira utilização como combustível foi na segunda guerra mundial. Uma vez que o exército alemão estava impossibilitado de abastecer com gasolina, utilizava-se etanol proveniente do processamento de batatas. No Brasil o primeiro contato com o etanol combustível deu-se da obrigatoriedade da mistura de 5% na gasolina importada em 1931. Desde então, e com o surgimento do motor flex, que opera em qualquer porcentagem de mistura entre etanol e gasolina, o país investe na produção de tal combustível (MARCOCCIA, 2007).

No Brasil, cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos já são renováveis. Enquanto isso, no cenário mundial, 86% da energia é proveniente de fontes energéticas não renováveis. Em razão disso, além de ser pioneiro nesse tipo de energia, o Brasil alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis alternativas estratégicas ao petróleo (BRASIL, 2017).

### **4.3. Biodiesel**

O próprio inventor dos motores a diesel, Rudolf Diesel, atestou o sucesso do uso de óleo de amendoim como combustível. O fato histórico ocorreu no início do século 20 na Exposição Mundial de Paris, onde o motor que havia sido construído para consumir petróleo operou com óleos vegetais sem qualquer modificação (BIODIESEL BRASIL, 2017).

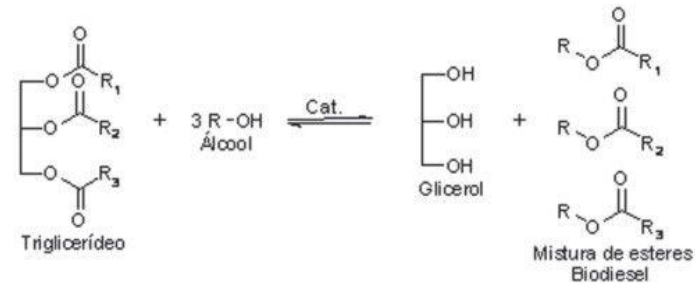
Dá-se o nome de biodiesel ao combustível alternativo de queima limpa, produzido de recursos renováveis e domésticos. O Biodiesel não possui petróleo em sua composição, mas pode ser adicionado a ele formando uma mistura. Pode ser usado em um motor de ignição a compressão (diesel) sem necessidade de alteração no motor. Esse biocombustível é de simples utilização, biodegradável, não tóxico e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos (BIODIESEL BRASIL, 2006).

Segundo a ANP, a definição técnica do biodiesel é “Combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2012 da ANP” (ENCARNAÇÃO, 2008).

O biodiesel é um combustível obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. Dentre as matérias-primas vegetais, provenientes de óleos vegetais, estão a soja, mamona, canola, dendê, girassol, pinhão manso, amendoim, entre outros. As de origem animal são obtidas do sebo bovino, suíno e de aves. Outra fonte de matéria prima é o óleo residual de fritura (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017).

O biodiesel possui três moléculas de ácidos graxos ligadas a uma molécula de glicerina, o que faz dele um triglicídio. O processo para a transformação do óleo vegetal em biodiesel é denominado transesterificação, que consiste na separação da glicerina do óleo vegetal, como mostrado na FIG.1. Portanto, a glicerina é um subproduto da produção de biodiesel (SILVA; FREITAS, 2008).

Figura 1 – Reação de transesterificação.



Fonte: SILVA, 2009.

Tal biocombustível está se tornando um importante substituto do óleo diesel, que é um produto derivado do petróleo, utilizado nos motores de ciclo diesel. A introdução do biodiesel no óleo diesel está atingindo percentuais crescentes, começando com 2% em 2005 e chegando nos dias atuais a 7% (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017).

Para facilitar a identificação da proporção da mistura de biodiesel ao diesel de petróleo definiu-se uma nomenclatura baseada nas proporções do biodiesel e diesel. Por exemplo, quando se tem uma mistura de 2% de biodiesel e 98% de diesel, esta recebe o nome de B2; uma mistura com 10% de biodiesel e o resto de diesel de petróleo é denominada B10 e quando o combustível é apenas biodiesel chama-se B100. As misturas mais utilizadas no mercado mundial estão entre 2% e 20% (BIODIESEL BRASIL, 2006).

Mesmo sendo utilizado como substituto do diesel de petróleo, o biodiesel possui características bem diferentes, uma vez que é biodegradável, não tóxico e possui baixa concentração de substâncias aromáticas cancerígenas (FERREIRA, 2009).

A utilização desse biocombustível é vantajosa do ponto de vista ambiental, econômico e social. Estudos demonstram que a substituição do diesel fóssil pelo biodiesel reduz as emissões na atmosfera em cerca de 20% de enxofre, 9,8% de dióxido de carbono, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio (FERREIRA, 2009)

#### 4.4. Matérias-primas

Em geral, as matérias-primas mais relevantes para produção de biodiesel vêm da gordura animal, do óleo vegetal e de óleos e gorduras residuais. Dentre as fontes vegetais mais empregadas, tem-se a mamona, o dendê, o babaçu, o girassol, o algodão, o amendoim, o pinhão-manso, a soja, a canola, o abacate e a oiticica. Já entre as fontes de origem animal dispõe-se do sebo bovino, da banha de porco, do óleo de aves e do óleo de peixes. O óleo residual de fritura também é muito utilizado e conta com grande potencial de oferta, cerca de mais de 30 mil toneladas por ano (OLIVEIRA, 2016).

Em 2015, dentre as matérias-primas mais utilizadas para a produção de biocombustível, destacava-se a soja, com 74,8%, seguida da gordura animal, que tem o sebo bovino com maior predominância, com 20,3% (MARINHO, 2015).

Os óleos vegetais e gorduras utilizados na produção de biodiesel são compostos, principalmente, de triglicerídeos, ésteres de glicerol e ácidos graxos. No óleo de soja, há predominância de ácido oleico, enquanto no óleo de babaçu é o laurídico e no sebo bovino, o ácido esteárico (SILVA, CARNEIRO, CARNEIRO, CESAR, 2009). Na TAB 1, pode-se observar as composições típicas em ácidos graxos para diversos óleos e gorduras de origem vegetal. O grau de insaturação e o tamanho da cadeia estão diretamente relacionados com as propriedades físicas e químicas desses compostos.

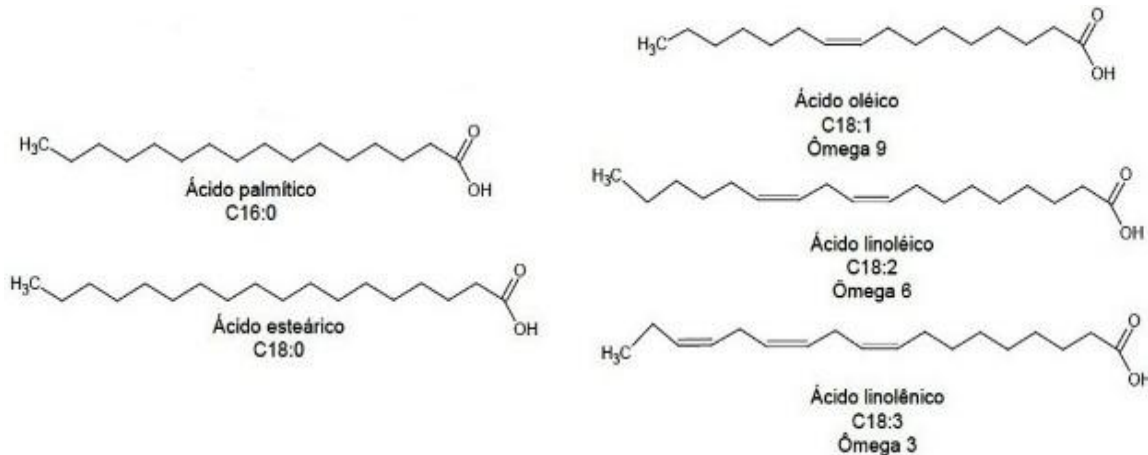
Tabela 1 – Composição em ácidos graxos de alguns óleos e gorduras de origem vegetal.

| Fonte do óleo   | Ácido Graxo(%) |               |                   |                         |                              |
|-----------------|----------------|---------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|
|                 | Palmítico C16  | Esteárico C18 | Oléico C18:1 (n9) | Linoléico C18:2 (n9,12) | Linolênico C18:3(n9, 12, 15) |
| <b>Algodão</b>  | 17-31          | 1-4           | 13-44             | 33-59                   | 0,1-2,1                      |
| <b>Amendoim</b> | 6-16           | 1,3-6,5       | 35-72             | 13-45                   | <1                           |
| <b>Dendê</b>    | 32-59          | 1,5-8         | 27-52             | 5-14                    | <1,5                         |
| <b>Girassol</b> | 3-10           | 1-10          | 14-65             | 20-75                   | <0,7                         |
| <b>Oliva</b>    | 7,5-20         | 0,5-3,5       | 56-83             | 3,5-20                  | <1,5                         |
| <b>Milho</b>    | 8-19           | 0,5-4         | 19-50             | 34-62                   | 4-11                         |
| <b>Soja</b>     | 7-14           | 1,4-5,5       | 19-30             | 44-62                   | 4-11                         |

Fonte: OLIVEIRA, SUAEREZ, SANTOS, 2008.

A FIG.2 mostra a estrutura química de alguns ácidos graxos, como o ácido palmítico, esteárico, oléico, linoléico e o linolênico.

Figura 2 - Estrutura de ácidos graxos.



Fonte: FARIAS et al, 2012

#### 4.4.1. Algodão

O algodão, cujo nome científico é *Gossypium hirsutum*, é conhecido e utilizado pelo homem desde as primeiras civilizações. No Brasil, os índios conheciam e dominavam seu plantio muito antes da descoberta pelos portugueses (VAINSENER, 2017).

No Brasil, o algodão é a segunda maior cultura de oleaginosa e a principal matéria-prima da indústria têxtil. Da planta, 40% é constituída por fibra, comercializada na indústria têxtil. O caroço, que corresponde aos 60% restantes, é de onde se extrai o óleo rico em vitamina E e ácidos graxos, que encontrou na produção de biodiesel uma excelente aplicação. Já o farelo é destinado à produção de ração animal (BIODIESEL BRASIL, 2006).

O percentual de óleo extraído do caroço do algodão, segundo estudos, varia de 16 a 26% dependendo do modo como é cultivado, do sistema de plantio e do tipo de extração adotado. Porém, se comparado com outras matérias-primas utilizadas na

produção de biodiesel, este índice ainda é baixo, uma vez que tem-se o pinhão-manso com 35% e o girassol com 43% (TIUSSU, 2009).

Por outro lado, o algodão possui um mercado consolidado e não disputa com outras oleaginosas destinadas ao consumo humano, como a soja, a canola e o dendê. Principalmente por esse motivo, acredita-se que a planta seja completa e uma fonte interessante para a indústria de biodiesel, sendo considerada o 'boi vegetal', pois possui: fibra, óleo e proteína. Logo, o ideal seria utilizar a soja para suprir as necessidades alimentícias e produzir biodiesel a partir do óleo do algodão, complementado pelo de dendê (TIUSSU, 2009).

#### **4.4.2. Amendoim**

O amendoim, cujo nome científico é *Arachis hypogaea*, é originário da América do Sul, onde se tem registros do seu cultivo desde a época dos Incas. É uma das principais plantas oleaginosas cultivadas no Brasil e é considerada uma das mais importantes culturas do mundo, ao lado da soja e do feijão (BARROS; JARDINE, 2017).

Alguns estudiosos afirmam que o amendoim tem potencial para desbancar a soja. Isso por que enquanto da soja pode se extrair 20% de óleo para a produção de biodiesel, no amendoim esse percentual chega a 50%. Para o agrônomo especialista em oleaginosas, Dilson Cáceres, "quando o mercado deixar de focar o volume de produção e se voltar para a qualidade, o óleo de amendoim poderá ser uma das principais fontes de biodiesel" (COSTA, 2010).

A semente seca de amendoim possui em torno de 50% de óleo, constituído por cerca de 50-60% de ácido olêico, 18-30% de ácido linolêico e 6-12% do ácido palmítico. Do ponto de vista econômico, possui alto custo devido à exportação para fins alimentares. Contudo, se for empregado na rotação de cultura nos canaviais, principalmente na região nordeste, já que atualmente o maior produtor do país é o estado de São Paulo, o cultivo do amendoim pode viabilizar a utilização desse óleo para produção de biodiesel (OLIVEIRA et al., 2017).

Atualmente, a grande barreira em tornar o amendoim uma das principais matérias-primas na fabricação de biodiesel é o seu alto custo de produção. Por ter sua

produção toda voltada para o setor alimentício, torna-se árdua a obtenção de biocombustível através dessa semente, embora tenha grande potencial.

#### **4.5. Biodiesel no Brasil**

O Brasil conta com a sua localização, que está situada em uma região tropical, para obter vantagens na geração de energia renovável. Entre os pontos que fazem o país ter um grande potencial, estão as altas taxas de luminosidade e temperaturas e disponibilidade hídrica com regularidade de chuvas (BIODIESEL BRASIL, 2006).

Esse biocombustível gera economia ao reduzir a importação de petróleo e óleo diesel, além de reduzir a poluição ambiental, gerar alternativas de empregos em áreas do país com poucas atividades econômicas e, assim, promover a inclusão social, levando energia elétrica para comunidades isoladas, hoje de elevado custo em função dos preços do diesel. Desta forma, a inclusão social tem como consequência a inclusão digital, que oferece a população o acesso a bens, serviços, informação, à cidadania e assim por diante (BRASIL, 2017).

Outra vantagem em produzir esse biocombustível é a redução da dependência das importações de petróleo, a chamada “petrodependência”. Além disso, a introdução do biodiesel aumenta a participação de fontes limpas e renováveis na matriz energética nacional, que conta principalmente com a hidroeletricidade e o álcool. Tais fatos colocam o Brasil numa posição ainda mais privilegiada nesse aspecto, no cenário internacional. A médio prazo, o biodiesel poderá tornar-se importante fonte de divisas para o País, que assim como o álcool, poderá ser disponibilizado como fonte de energia renovável à comunidade mundial (BRASIL, 2017).

Atualmente o Brasil é o quarto maior produtor mundial de biodiesel, atrás apenas da Alemanha, Estados Unidos e França, respectivamente o primeiro, segundo e o terceiro colocados. Em março de 2011, Uma análise do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) revela que a soja continua sendo a principal matéria-prima utilizada, correspondendo a cerca de 77,9% da produção nacional, seguida do sebo bovino com 16,15%, do óleo de algodão com 3,50% e de outras

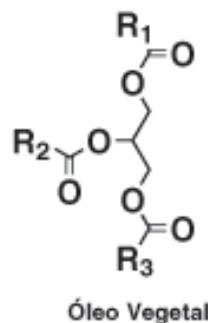
matérias-primas, que contribuem com apenas 2,45% do total (RAMOS; SILVA; MANGRICH; CORDEIRO; 2011).

O biodiesel é um combustível utilizado em motores do ciclo diesel, ou seja, motores com combustão interna de ignição por compressão, sendo utilizados em meios de transporte como ônibus, caminhões, automóveis, entre outros. Motores do ciclo diesel são conhecidos por ignição por compressão, dado que o combustível vaporizado e misturado com ar, queima pela ação da compressão exercida por um pistão na câmara de combustão ou cilindro (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).

#### 4.6. Processos de produção do biodiesel

A molécula de óleo vegetal é formada por três moléculas de ácidos graxos ligadas a uma molécula de glicerina, o que faz dele um triglicérido (MENEGHETTI,\* MENEGHETTI, BRITO, 2013). A estrutura do óleo vegetal é mostrada na FIG.3.

Figura 3 – Estrutura do óleo vegetal.



Fonte: MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009.

O processo para a transformação do óleo vegetal em biodiesel chama-se transesterificação (MENEGHETTI,\* MENEGHETTI, BRITO, 2013).

A transesterificação consiste na separação da glicerina do óleo vegetal. Uma molécula de óleo vegetal tem cerca de 20% de glicerina conferindo ao óleo maior densidade e viscosidade. Durante o processo de transesterificação, a glicerina é removida do óleo vegetal, tornando o óleo mais fino e menos viscoso (MENEGHETTI,\* MENEGHETTI, BRITO, 2013).



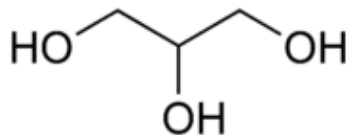
Na reação de transesterificação, que é o principal método de produção do biodiesel, ocorrem três reações consecutivas e reversíveis entre os triglicerídeos e álcool, metanol ou etanol, na presença de um catalisador que pode ser homogêneo, heterogêneo ou enzimático. Essa reação consiste na conversão dos óleos e gorduras em um éster de menor massa molecular, similar ao diesel fóssil. Um subproduto importante gerado nessa reação é a glicerina, bastante utilizada em indústrias de cosméticos (ENCARNAÇÃO, 2008).

#### 4.7. Glicerina

Após o processo de transesterificação, obtém-se a massa final que é constituída de duas fases. A mais densa, é formada por glicerina bruta e impurezas como álcool, água e restos da matéria-prima. A fase menos densa é composta do biodiesel e também por impurezas da matéria-prima (FERREIRA, 2009).

O glicerol ou 1,2,3-Propanotriol é um composto orgânico e pertence à função álcool com três hidroxilas de fórmula molecular  $C_3H_8O_3$ , como mostra a FIG 4 (FERREIRA, 2009).

Figura 4 - Estrutura química do glicerol.



Fonte: Thinkstock, 2017

Dá-se o nome glicerol ao composto na sua forma bruta, enquanto o termo glicerina é aplicado à purificação dos compostos comerciais que contém, em sua maior parte, quantidades iguais ou superiores a 95 % de glicerol (FERREIRA, 2009).

Com o aumento da produção de biodiesel gera-se um grande excedente de glicerina. Em geral, 10% em massa do produto da reação de transesterificação é composto por glicerol bruto e impurezas (MENDES; SERRA, 2012).

Em sua forma bruta o glicerol apresenta-se na forma de líquido viscoso pardo escuro, possuindo quantidades variáveis de sabão, álcool (metanol ou etanol),

monoacilglicerol, diacilglicerol, oligômeros de glicerol, polímeros e água (APOLINÁRIO; PEREIRA; FERREIRA, 2012).

O glicerol, após sua produção, apresenta-se como um líquido oleoso, de coloração pardo escuro, inodoro, viscoso e de sabor doce, solúvel em água e álcool, e insolúvel em hidrocarbonetos, é pouco solúvel em éter, acetato de etila e dioxano (MENDES; SERRA, 2012)

Na tentativa de evitar futuros problemas derivados da acumulação de glicerol e visando uma produção de biodiesel mais competitiva, é fundamental a busca de alternativas para o uso do glicerol bruto gerado nesta produção. Este subproduto, na forma pura, possui inúmeras aplicações industriais como aditivos para a indústria de alimentos, indústria química e farmacêutica (APOLINÁRIO; PEREIRA; FERREIRA, 2012).

As aplicações mais importantes da glicerina são mostradas na TAB.2.

Tabela 2 – Principais aplicações do Glicerol.

| <b>Aplicações</b>                    | <b>% do consumo global</b> |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Cosmética/ Detergentes/ Farmacêutica | 28                         |
| Resinas                              | 6                          |
| Alimento e Bebidas                   | 8                          |
| Poliglicerois                        | 12                         |
| Tabaco                               | 3                          |
| Filmes de celulose                   | 5                          |
| Ésteres                              | 13                         |
| Papel                                | 1                          |
| Revenda                              | 14                         |
| Outras                               | 10                         |

Fonte: Ferreira, 2009.

#### **4.8 Possíveis utilizações para a glicerina gerada no processo**

A glicerina gerada no processo de fabricação do biodiesel pode ter diversas aplicações na indústria dependendo do seu grau de pureza. A reutilização desse subproduto é de grande importância atualmente, devido ao grande volume de biodiesel produzido.

Em 2006, estudos demonstraram que é possível adicionar a glicerina bruta em misturas de resíduos orgânicos a fim de produzir adubo, produzindo um composto com elevado teor de potássio. Porém, deve-se atentar para a umidade, os níveis de oxigênio

e a temperatura, que devem ser mantidos em uma faixa ideal. O mesmo estudo ainda sugeriu como alternativa, a geração de biogás através da biodigestão da glicerina bruta misturada a outros resíduos líquidos ou semi-líquidos de fácil degradabilidade microbiana. Concluiu ser este um processo viável, produzindo aumento na produção de biogás (BERTOZZO; JÚNIOR; LARA, 2009).

A glicerina bruta também pode ser empregada no preparo de compósitos de amido de milho e fibras de bananeira. Testes preliminares revelaram que a glicerina bruta originou compósitos mais homogêneos e com melhores propriedades que os produzidos com glicerol comercial, devido à sua alcalinidade residual (BERTOZZO; JÚNIOR; LARA, 2009).

A glicerina também pode ser utilizada na alimentação animal. Em vacas com alta produção de leite, a glicerina foi empregada como substância glicogênica. Já nas aves, foi usada como fonte de energia, e obteve-se a constatação que a adição de 5% de glicerina bruta não afetou o desempenho dos animais, devendo-se atentar apenas a quantidade de metanol presente no resíduo. A adição de 15% de glicerina bruta na dieta de galinhas poedeiras também não provocou alterações sobre o consumo diário de ração e produção, peso e massa dos ovos (BERTOZZO; JÚNIOR; LARA, 2009).

O tratamento para a glicerina também é de grande interesse. O grande obstáculo da utilização deste composto é a sua pureza, devido às exigências das indústrias, visto que após a reação de transesterificação alguns resíduos do processo acabam se misturando à glicerina, formando uma mistura de glicerol, álcool (metanol ou etanol), água, sais inorgânicos proveniente dos catalisadores (hidróxido de potássio ou sódio), mono, di e triglicerídeos que não reagiram completamente, ácidos graxos livres, ésteres metílicos e etílicos e outras substâncias que podem ser encontradas dependendo do tipo de óleo e procedimentos adotados (SANTOS *et al.*, 2015).

Nas diversas aplicações da glicerina como em remédios, alimentos, resinas alquídicas, políois e explosivos, é imprescindível um alto grau de pureza nesses processos de síntese destes derivados, demandando teores entre 80 a 95% e cerca de 99,5% no caso da chamada glicerina técnica e na aplicada à indústria farmacêutica (SANTOS *et al.*, 2015).

O refino da glicerina obtida pela reação de transesterificação geralmente é realizado por destilação, seguida por tratamento com carvão ativo. A destilação é o método mais utilizado nos processos de purificação da glicerina e deve ser feita à alto vácuo, de 0,600 a 1,330 kPa absoluto. A temperatura utilizada não deve ultrapassar 204 °C, a fim de prevenir a polimerização e a decomposição da glicerina em acroleína (LOPES et al., 2014).

Em alguns casos o refino é realizado por processos de troca iônica. Este método vem recebendo grande aceitação por ser simples e de baixo consumo de energia. Na purificação por troca iônica, o material filtrado passa por sucessivos leitos de cátion forte e ânion fraco, ou em uma mistura desses leitos. A unidade de troca iônica opera com eficiência em soluções diluídas a uma concentração de cerca 30 % a 25 °C ou 40 % a 80 °C, onde a glicerina deve ser alimentada livre de turbidez e de materiais coloidais. A passagem pelas resinas elimina sais, ácidos graxos livres, impurezas que conferem cor e odor, entre outras impurezas minerais presentes. A concentração subsequente da solução de glicerina purificada se dá pela evaporação do solvente (LOPES et al., 2014).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

Os biodieseis foram produzidos e caracterizados no Centro de Análises de Águas e Resíduos (CENAR) do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR, localizado na cidade de Formiga, Minas Gerais, Brasil.

### 5.1. Produção do biodiesel

Os biodieseis foram produzidos em duplicatas por meio da reação de transesterificação, que é uma reação química entre um óleo e um álcool na presença de um catalisador. O metanol foi empregado como álcool e como catalisadores alcalinos, utilizou-se o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio, com o intuito de comparar a eficiência dos mesmos posteriormente. A TAB 3 mostra os biodieseis produzidos:

Tabela 3 – Biodieseis produzidos.

| <b>Biodieseis Produzidos</b>                         | <b>Abreviações</b>   |
|------------------------------------------------------|----------------------|
| 100% óleo de amendoim                                | 100% OAMEN           |
| 100% óleo de amendoim repetição                      | 100% OAMEN REPET     |
| 100% óleo de algodão                                 | 100% OALG            |
| 100% óleo de algodão repetição                       | 100% OALG REPET      |
| 75% óleo de amendoim – 25% óleo de algodão           | 75/25 AMEN/ALG       |
| 75% óleo de amendoim – 25% óleo de algodão repetição | 75/25 AMEN/ALG REPET |
| 50% óleo de amendoim – 50% óleo de algodão           | 50/50 AMEN/ALG       |
| 50% óleo de amendoim – 50% óleo de algodão repetição | 50/50 AMEN/ALG REPET |
| 25% óleo de amendoim – 75% óleo de algodão           | 25/75 AMEN/ALG       |
| 25% óleo de amendoim – 75% óleo de algodão repetição | 25/75 AMEN/ALG REPET |

Fonte: Autor, 2017

A solução catalisadora utilizada na reação de transesterificação foi baseada no trabalho de Sousa (2014), que consiste em dissolver 2,41 g de hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH) em 60 ml de metanol (CH<sub>3</sub>OH), em capela, sob agitação e temperatura aproximada de 50 °C.

### 5.2. Síntese do Biodiesel

Para a reação de transesterificação aqueceu-se em manta aquecedora marca Fisatom modelo 52 em temperatura a cerca de 60 °C, 300 ml de óleo de amendoim

e/ou algodão (nas proporções indicada na TAB 3) em um balão de três bocas. Posteriormente inseriu-se a solução catalisadora no mesmo para que fosse aquecido e agitado pelo agitador mecânico marca Fisatom modelo 771. A reação ocorreu durante 60 minutos sob constante agitação de 300 rpm, com temperatura em torno de 80 °C.

Após o término da reação de transesterificação, o biodiesel foi transferido para um funil de decantação por cerca de 12 horas. Após o período de repouso notou-se duas fases, sendo que a fase menos densa continha o biodiesel e a outra, mais densa, a glicerina.

Depois da separação, os biodieseis foram transferidos para um béquer seco e encaminhados à capela por 10 minutos, numa temperatura de aproximadamente 90°C, para volatilizar o metanol.

Em seguida fez-se a lavagem dos biodieseis para purificação dos mesmos. Para isto, utilizou-se água destilada em temperatura ambiente na mesma proporção do volume de biodiesel. O procedimento ocorreu no funil de decantação sendo repetido quatro vezes, a cada 12 horas, para a separação de biodiesel e água.

Posteriormente os biodieseis foram posicionados em uma estufa por 12 horas a aproximadamente 100 °C, para desumidificação dos mesmos.

### **5.3. Propriedades avaliadas**

No Brasil, as especificações referentes ao controle da qualidade do biodiesel a serem atendidas para a comercialização do produto em todo o território nacional são estabelecidas pela Resolução nº 14 de 11 de maio de 2012 da ANP.

Para a caracterização físico-química dos biodieseis obtidos foram realizadas análises conforme os seguintes parâmetros:

#### **5.3.1 Aspecto**

O aspecto refere-se a uma análise visual preliminar, onde procura-se identificar a presença de impurezas como materiais em suspensão, sedimentos ou mesmo água, que pode ser identificada pela turvação da amostra.

Verificada a ausência de contaminantes, o biodiesel pode ser especificado como:

- Heterogêneo (quando apresentar duas ou mais fases);
- Límpido com impurezas e cristais;
- LII – Límpido e Isento de Impurezas;
- Turvo (névoa) com impurezas;
- Turvo (névoa) e isento de impurezas.

Para tal análise, a amostra foi colocada em uma proveta sobre uma superfície plana, com luz natural, sem vibração e livre de ar.

### 5.3.2 Índice de acidez

Na determinação do índice de acidez, foram pesados 2 g da amostra em um erlenmeyer e adicionados 25 mL de solução de éter-álcool (2:1), feita com a mistura de 67 ml de éter e 34 ml de álcool etílico, anteriormente neutralizada com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N. Em seguida, foram adicionadas 2 gotas de indicador de fenolftaleína e titulado com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N até atingir a coloração rósea. O cálculo do índice de acidez foi feito a partir da Equação 1:

$$IA = \frac{V.f.5,61}{P} \quad (1)$$

Onde:

IA = índice de acidez (mg KOH/g)

V = volume (ml) da solução de hidróxido de sódio a 0,1 N gasto na titulação;

f = fator da solução de hidróxido de sódio;

P = massa em g da amostra.

### 5.3.3 Índice de iodo

A determinação do índice foi feita mediante a filtragem da amostra com papel filtro em funil de vidro, e para tal pesou-se 0,05 g da amostra em erlenmeyers de vidro na balança de precisão. Com uma pipeta volumétrica foram medidos 3 ml de clorofórmio que foram adicionados nos erlenmeyers contendo o biodiesel e a um terceiro com água destilada para a amostra em branco, para solubilizar as amostras. Com a pipeta volumétrica foram adicionados 10 ml de solução de Wijs, solução de iodeto de potássio a 15%. Os frascos foram agitados e reservados em local escuro, com temperatura entre 20°C e 30°C (o tempo de repouso das amostras foi de 2 horas se o índice de iodo esperado fosse acima de 150, e de 1 hora se fosse abaixo de 150). Após o período de repouso os frascos foram removidos do local e adicionou-se 8 ml de iodeto de potássio (KI) 10% com a pipeta e 60 ml de água destilada para a realização das titulações com tiosulfato de sódio a 0,1 mol/l, sob vigorosa agitação, até que a coloração da amostra ficasse mais clara. Após a coloração amarelada se tornar mais clara foi adicionado 1 ml de indicador de amido e esta tornou-se rósea, continuou-se a titulação até que a fase inferior mudasse de coloração rosa para incolor. O cálculo do índice de iodo foi feito através da Equação 2:

$$II = \frac{(VB-VA).M.F.12,69}{P} \quad (2)$$

Em que:

II = índice de iodo

VB = volume gasto na prova em branco (ml);

VA = volume gasto do titulante (ml);

M = molaridade [0,1 mol/l de tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )];

F = fator de correção;

P = massa em g da amostra de biodiesel.



### 5.3.4 Umidade

Para a realização do ensaio, mediu-se na proveta 20 ml de cada amostra de biodiesel e logo após transferiu-se a mesma para um béquer de vidro e onde colocou-se para secagem em uma estufa da marca Fabbe modelo 119, à temperatura de  $90 \pm 1^\circ\text{C}$  até massa constante. O percentual foi calculado pela Equação 3:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m_1} \quad (3)$$

Onde:

$m_1$  = massa da amostra pesada antes de ir para a estufa (g);

$m_2$  = massa da amostra pesada após o aquecimento(g).

### 5.4. Tratamento das águas residuais

As análises físico-químicas das amostras dos efluentes líquidos gerados no processo de produção do biodiesel foram feitas no Centro de Análises de Águas e Resíduos (CENAR) do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR.

O tratamento físico-químico do efluente gerado no processo de lavagem do produto foi realizado no equipamento Jartest, com três diferentes coagulantes, sendo eles o policloreto de alumínio, o sulfato de alumínio e o sulfato ferroso, com duas dosagens diferentes de cada.

O pH dos efluentes foram ajustados para um valor de 6,5 em todas as amostras antes de se iniciar o tratamento, para um melhor desempenho dos coagulantes, que foram utilizados em duas concentrações distintas para verificar melhor o desempenho dos mesmos.

Logo após mediu-se 200 mL de amostra para cada teste, e em seguida pesou-se 0,05 g e 0,025 g de cada coagulante para que então as amostras fossem levadas ao Jartest por 1 minuto a 100 rpm e 30 minutos a 40 rpm. Em seguida, os efluentes foram filtrados com auxílio de um filtro de papel.

As amostras foram então analisadas quanto a cor, turbidez, pH e demanda química de oxigênio, utilizando equipamentos específicos para cada tipo de análise.

#### **5.4.1 pH**

A determinação do pH das amostras foi feita com uso de peagâmetro, da marca Analion modelo PM 608, que consiste na leitura simples em equipamento calibrado. O pH representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$  e dá as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da amostra. O pH varia na faixa entre 0 e 14.

#### **5.4.2 Turbidez**

As amostras foram analisadas com uso de turbidímetro, marca Hanna modelo HI 98703, que consiste em uma fonte de luz para iluminar a amostra e um ou mais detectores fotoelétricos com dispositivos capazes de medir a intensidade da luz espalhada segundo um ângulo de  $90^\circ$ , em relação à direção incidente. A amostra foi diluída em água destilada 1/100.

#### **5.4.3 Cor**

A cor das amostras foi determinada através do colorímetro Digimed, modelo DM-50, no qual realizou-se a medida da cor pela leitura de sua absorbância após diluição em água destilada da amostra em relação 1/100.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Aspecto

De acordo com a Resolução da ANP nº 14 de 11 de maio de 2012, o aspecto dos biodieseis produzidos deve ser LII – Límpido e isento de impurezas.

Todos os biodieseis produzidos, a partir de óleo de amendoim e óleo de algodão, com ambos os catalisadores, apresentaram aspecto límpido e isento de impurezas, atendendo, dessa forma, ao que a norma estabelece para esse parâmetro.

### 6.2 Índice de Acidez

Na TAB 4 estão representados os resultados da análise para os biodieseis produzidos, onde os valores em negrito estão acima do permitido:

Tabela 4 – Resultados índice de acidez.

| Biodieseis           | NaOH         | KOH          |
|----------------------|--------------|--------------|
| 100% OAMEN           | <b>1,523</b> | 0,190        |
| 100% OAMEN REPET     | 0,140        | 0,160        |
| 100% OALG            | 0,168        | 0,196        |
| 100% OALG REPET      | 0,140        | 0,196        |
| 75/25 AMEN/ALG       | 0,112        | 0,140        |
| 75/25 AMEN/ALG REPET | 0,168        | 0,252        |
| 50/50 AMEN/ALG       | 0,452        | 0,168        |
| 50/50 AMEN/ALG REPET | 0,234        | 0,168        |
| 25/75 AMEN/ALG       | 0,254        | 0,254        |
| 25/75 AMEN/ALG REPET | <b>0,532</b> | <b>0,532</b> |

Fonte: Autor, 2017

Conforme a Resolução da ANP 14/2012, o limite do índice de acidez é de 0,5 mg KOH/g Conforme pode-se constatar na tabela, o índice de acidez do biodiesel 100% amendoim com o catalisador NaOH e dos biodieseis 25/75 AMEN/ALG REPET, para os catalisadores NaOH E KOH, ficaram acima do permitido.

O índice de acidez alto interfere negativamente na qualidade do óleo uma vez que prejudica a reação via catalise básica exigindo maiores quantidades de catalisador. A elevada acidez revela que o óleo está sofrendo quebras em sua cadeia, liberando

seus principais constituintes, podendo assim acelerar a taxa de corrosão do motor (OLIVEIRA *et al*, 2012).

### 6.3 Índice de iodo

A TAB 5 mostra os resultados obtidos para o índice de iodo para todos os biodieseis sintetizados.

Tabela 5 – Resultados índice de iodo.

| <b>Biodieseis</b>    | <b>NaOH</b> | <b>KOH</b> |
|----------------------|-------------|------------|
| 100% OAMEN           | 137,05      | 164,97     |
| 100/% OAMEN REPET    | 187,81      | 159,89     |
| 100% OALG            | 152,28      | 131,97     |
| 100% OALG REPET      | 215,73      | 236,03     |
| 75/25 AMEN/ALG       | 312,17      | 365,47     |
| 75/25 AMEN/ALG REPET | 332,47      | 322,32     |
| 50/50 AMEN/ALG       | 134,51      | 142,12     |
| 50/50 AMEN/ALG REPET | 258,87      | 139,59     |
| 25/75 AMEN/ALG       | 258,87      | 200,50     |
| 25/75 AMEN/ALG REPET | 281,71      | 139,59     |

Fonte: Autor, 2017

O índice de iodo associa-se com o total de insaturações de um material lipídico, isto é, quanto maior o número de insaturações, maior o índice de iodo. E consequentemente, quanto menor for a quantidade de duplas ligações, menor será o valor encontrado (SOUSA, 2014). Não há especificações na Resolução ANP N° 14, DE 11.5.2012 - DOU 18.5.2012 acerca do índice de iodo.

Segundo Sousa (2014), espera-se que o índice de iodo seja maior que 100 g.L/100g uma vez que os óleos vegetais são compostos de ácidos insaturados. Conforme pode-se constatar na tabela, todos os biodieseis se encontram acima desse valor mínimo.

### 6.4 Umidade

Todos os biodieseis produzidos, a partir de NaOH e KOH, apresentaram teor de umidade igual a 0 mg/kg.

O biodiesel possui uma grande afinidade com a água e por isso, deve-se atentar ao controle de umidade do mesmo, uma vez que o excesso de água no combustível pode elevar o índice de acidez, resultando em corrosão de tanques de estocagem e deposição de sedimentos, corrosão em motores e favorecimento da proliferação de micro-organismos (SOUSA, 2014).

Segundo Resolução ANP Nº 14, DE 11.5.2012 - DOU 18.5.2012, a partir de 1º de janeiro de 2014, o limite máximo para esse parâmetro é de 200 mg/kg ou seja 0,02%.

O teor de umidade baixo reflete em uma queima de combustível mais eficiente e ainda evita o risco de corrosão em motores.

## 6.5 Tratamento das águas residuais

A TAB 6 mostra os resultados para o pH obtidos com todos os coagulantes em diferentes dosagens.

Tabela 6 – Resultados pH.

| Efluente         | Policloreto de alumínio |          | Sulfato de alumínio |          | Sulfato ferroso |          |
|------------------|-------------------------|----------|---------------------|----------|-----------------|----------|
|                  | 0,5 ml/L                | 1,0 ml/L | 0,025 g/L           | 0,05 g/L | 0,025 g/L       | 0,05 g/L |
| Amendoim<br>NaOH | 6,5                     | 3,78     | 4,23                | -        | 4,55            | 4,42     |
| Algodão<br>NaOH  | 4,27                    | -        | 4,13                | 4,05     | 4,21            | 3,89     |
| Amendoim<br>KOH  | 6,23                    | 3,78     | -                   | 4,01     | 5,71            | -        |
| Algodão<br>KOH   | -                       | 3,76     | 3,72                | 3,89     | -               | 3,98     |

Fonte: Autor, 2017

A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece condições e parâmetros para descarte correto dos efluentes, onde os mesmos poderão ser lançados somente após o devido tratamento e desde que obedeçam às exigências dispostas pela Resolução ou outras normas aplicáveis.

A mesma resolução estabelece que o pH ideal para lançamento em corpos receptores deve-se apresentar entre 5,0 e 9,0. A TAB 6 mostra o pH dos efluentes brutos.

Foi possível notar, na maioria dos casos, que a quantidade do coagulante interferiu diretamente no pH dos efluentes, onde quanto maior foi a quantidade do coagulante, menor o valor do pH. Assim, as amostras não puderam ser descartadas, pois todos os valores de pH ficaram abaixo do estabelecido pelo CONAMA.

A TAB 7 mostra os resultados da turbidez em Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU) obtidos com o efluente bruto:

Tabela 7 – Resultados turbidez em NTU.

| <b>Efluente</b> | <b>Turbidez (NTU)</b> |
|-----------------|-----------------------|
| Amendoim NaOH   | 43,85                 |
| Algodão NaOH    | 5,53                  |
| Amendoim KOH    | 35,25                 |
| Algodão KOH     | 21,50                 |

Fonte: Autor, 2017

A TAB 8 mostra os resultados da turbidez em NTU com todos os coagulantes em diferentes dosagens:

Tabela 8 - Resultados turbidez em NTU.

| <b>Efluente</b>      | <b>Policloreto de alumínio</b> |                 | <b>Sulfato de alumínio</b> |                 | <b>Sulfato ferroso</b> |                 |
|----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
|                      | <b>0,5 ml/L</b>                | <b>1,0 ml/L</b> | <b>0,025 g/L</b>           | <b>0,05 g/L</b> | <b>0,025 g/L</b>       | <b>0,05 g/L</b> |
| <b>Amendoim NaOH</b> | 0,00                           | 0,00            | 0,00                       | 0,00            | 0,00                   | 0,00            |
| <b>Algodão NaOH</b>  | 0,00                           | -               | -                          | 53,85           | -                      | 0,00            |
| <b>Amendoim KOH</b>  | 0,00                           | 10,78           | 0,00                       | 0,00            | 0,00                   | -               |
| <b>Algodão KOH</b>   | -                              | 0,00            | 0,00                       | -               | 0,00                   | 0,00            |

Fonte: Autor, 2017

A turbidez associa-se a partículas coloidais ou partículas em suspensão, conferindo assim uma aparência turva na água. O aumento da turbidez em cursos d'água prejudica o equilíbrio ambiental, uma vez que interfere na zona de luz e conseqüentemente, na fotossíntese (SOUSA, 2014).

Entretanto, a resolução do CONAMA não estabelece um valor de turbidez para lançamento de efluente.

A TAB 9 nos mostra os resultados para a cor dos efluentes brutos em mg Pt/L

Tabela 9 - Resultados cor em mgPt/L.

| <b>Efluente</b> | <b>Cor (mg Pt/L)</b> |
|-----------------|----------------------|
| Amendoim NaOH   | 138                  |
| Algodão NaOH    | 198                  |
| Amendoim KOH    | 150                  |
| Algodão KOH     | 174                  |

Fonte: Autor, 2017

A TAB 10 mostra os resultados da cor em com o coagulante policloreto de alumínio:

Tabela 10 – Resultados cor em mg Pt/L.

| <b>Efluente</b>      | <b>Policloreto de alumínio</b> |                 | <b>Sulfato de alumínio</b> |                  | <b>Sulfato ferroso</b> |                  |
|----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|                      | <b>0,5 ml/L</b>                | <b>1,0 ml/L</b> | <b>0,025 mg/L</b>          | <b>0,05 mg/L</b> | <b>0,025 mg/L</b>      | <b>0,05 mg/L</b> |
| <b>Amendoim NaOH</b> | 16                             | 39              | 10,5                       | -                | 196                    | 279              |
| <b>Algodão NaOH</b>  | 15,8                           | -               | 55,3                       | 65,9             | 94,5                   | 159              |
| <b>Amendoim KOH</b>  | 5,1                            | 41              | -                          | 40,2             | 30,9                   | -                |
| <b>Algodão KOH</b>   | -                              | 108             | 10,6                       | 16,7             | -                      | 13.3             |

Fonte: Autor, 2017

A cor é um parâmetro fundamental para controle da qualidade da água, já que é possível determinar as dosagens de produtos químicos a serem adicionadas, os graus de mistura, o tempo de contato e de sedimentação das partículas floculadas (SOUSA, 2014). Porém, o CONAMA não estabelece um nível de cor para lançamento de efluente em corpos hídricos.

As análises de cor e turbidez apresentaram-se como um importante parâmetro de análise de efluente, uma vez que indicaram o desempenho do coagulante com uma análise simples. Foi possível observar que a presença dos coagulantes, na maioria dos casos, diminuiu consideravelmente os valores de turbidez e cor em relação ao efluente bruto.

O tratamento com os coagulantes não foi satisfatório, uma vez que os valores de pH dos efluentes, em razão dos coagulantes utilizados, apresentaram-se ácido, impossibilitando o descarte correto dos efluentes no ambiente.

A literatura mostra que o trabalho de Sousa (2014), também não obteve sucesso no tratamento do efluente em relação ao pH, onde o mesmo apresentou valores entre 2,4 à 3,9.



## 7. CONCLUSÃO

O processo de produção de biodiesel através da reação de transesterificação mostrou-se eficiente para todos os biodieseis produzidos, atendendo as especificações dos órgãos regulamentadores.

Analisando os parâmetros nota-se que não houve diferenças significativas quanto à eficiência dos catalisadores utilizados, sendo eles o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio.

Os óleos de amendoim e algodão, sendo utilizados em sua forma bruta ou misturados, mostraram-se boas fontes de matérias primas para a obtenção de biodiesel, uma vez que ambos os óleos encontraram-se dentro dos limites dos parâmetros analisados.

As análises do tratamento do efluente gerado no processo mostraram que mesmo com o tratamento, o efluente não está propício para descarte na natureza.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1\\_000g7pcetcc02wx5ok0wtedt32e6jis7.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1_000g7pcetcc02wx5ok0wtedt32e6jis7.pdf)> . Acesso em: 19 abr. 2017.
- AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Biodiesel**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/NT00035116\\_000gihb7tn102wx5ok05vadr1szzvy3n.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/NT00035116_000gihb7tn102wx5ok05vadr1szzvy3n.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- ALBIERO, D;. *Jornal Dia de Campo*. **Utilização de energia na agricultura parte I**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23369&secao=Colunas%20e%20Artigos>>. Acesso em 11 jun. 2017.
- ALBUQUERQUE, Geuza Araújo de. **Obtenção e caracterização físico-química do biodiesel de canola (Brassic napus)**. 2006. 123 f. Dissertação (Mestre em Química)- Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2006. Disponível em: <[http://security.ufpb.br/ppgq/contents/documentos/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/2006/Dissertacao\\_Geuz\\_A\\_Albuquerque.pdf/view](http://security.ufpb.br/ppgq/contents/documentos/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/2006/Dissertacao_Geuz_A_Albuquerque.pdf/view)>. Acesso em: 18 maio 2017.
- APOLINÁRIO, F. D. B.; PEREIRA, G. de F.; FERREIRA, J. P. **Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 141-146, 2012.
- BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO Agroenergia: Amendoim**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn002wx5eo0sawqe3ex35v9p.html>>. Acesso em: 27 maio. 2017.
- BERTOZZO, F.; JÚNIOR, J. de L.; LARA, A. C. da C.; **Glicerina: um resíduo da produção de biodiesel**. Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel. Montes Claros. Biodiesel: inovação tecnológica – anais. Lavras: UFLA, 2009.
- BIODIESEL BRASIL. **Algodão**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/plantas/algodao/algodao.htm>>. Acesso em 26 maio. 2017a.
- BIODIESEL BRASIL. **Biodiesel no Brasil**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/biodiesel-brasil.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2017b.
- BIODIESEL BRASIL. **História e Biodiesel**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/biodiesel-historia.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2017c.
- BIODIESEL BRASIL. **O que é biodiesel?**. Disponível em <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel.htm>>. Acesso em: 15 maio. 2017d.

BRASIL. . Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Produção e fornecimento de biocombustíveis**. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis**. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Consumo de combustíveis no Brasil caiu 1,9% na comparação entre 2014 e 2015**. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Meio Ambiente. **Matriz energética**. Brasília, DF, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Biodiesel**. Brasília, DF, 2017.

BUCUSSI, A. A.; **Introdução ao conceito de energia**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução ° 430**. 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005.

COSTA, L. **Amendoim: excelente potencial para biodiesel**. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,amendoim-excelente-potencial-para-biodiesel,518749>>. Acesso em: 27 maio. 2017.

DESCOBRIR O BIODIESEL. **Qual a sua composição química?** Disponível em: <<https://descobrirbiodiesel.wordpress.com/2012/04/09/qual-a-sua-composicao-quimica/>>. Acesso em: 05 maio. 2017.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama . **GERAÇÃO DE BIODIESEL PELOS PROCESSOS DE TRANSESTERIFICAÇÃO E HIDROESTERIFICAÇÃO, UMA AVALIAÇÃO ECONÔMICA**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências ) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.tpqb.eq.ufrj.br/download/biodiesel-via-trans-e-hidroesterificacao.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2017.

ENERGIA INTELIGENTE. **Especial: A crise energética brasileira**. Disponível em <<http://energiainteligenteufjf.com/especial/especial-a-crise-energetica-brasileira/>>. Acesso em: 25 maio. 2017.

FARIAS, E.S et al. Química Analítica. In: Congresso Brasileiro de Química, 52º., 2012, Recife, PE. **PERFIL DOS ÁCIDOS GRAXOS DO ÓLEO DA SEMENTE DE ANDIROBA (Carapa Guianensis Aublet) DE RORAIMA POR CROMATOGRAFIA GASOSA (CG)**... [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/4/741-12796.html>>. Acesso em: 25 set. 2017.

FERREIRA, M. de O. **Purificação da glicerina bruta obtida a partir da transesterificação do óleo de algodão**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Química)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L V.; **O biocombustível no Brasil**. Revista Novos Estudos, São Paulo, nº78, 2007.

LOPES, A. P. et al. Purificação de Glicerina Residual Obtida na Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Residuais . **Revista Virtual de Química**, [S.l.], v. 6, n. 6, p. 1564-1582, nov. 2014. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v6n6a04.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2017.

MANUAL DA QUÍMICA. **Biodiesel**. Disponível em <<http://manualdaquimica.uol.com.br/combustiveis/biodiesel.htm> >. Acesso em: 23 maio. 2017.

MARCOCCIA, Renato. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-05072007-114536/pt-br.php>>. Acesso em: 26 set. 2017.

MARINHO, A. F. Canal Jornal da bioenergia. **Retrospectiva Canal 2015: opções de matéria-prima para produção de biodiesel**. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/o-uso-do-sebo-animal-e-a-producao-de-biodiesel/>>. Acesso em: 26 maio. 2017.

MENDES, D. B.; SERRA, J. C. V.; Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 13, n. 20, 2012.

MENEGHETTI, S. M. P.;\* MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel. **Revista Virtual Química**, 2013.

MOTA, Claudio J. A.; SILVA, Carolina X. A. da; GONÇALVES, Valter L. C. .Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, São Paulo, mar. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422009000300008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300008)>. Acesso em: 25 set. 2017.

OIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. dos; **Biodiesel: Possibilidades e Desafios**. Química Nova na Escola, nº 28, Curitiba, PR, 2008

OLIVEIRA, A. **Produção de biodiesel - conheça as principais matérias-primas**. Disponível em: <<http://www.producaodebiodiesel.com.br/materias-primas/producao-de-biodiesel-conheca-as-principais-materias-primas>>. Acesso em: 26 maio. 2017.

OLIVEIRA, D. S. et al. OBTENÇÃO DO BIODIESEL ATRAVÉS DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE Moringa Oleífera Lam. **Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe, Espanha e Portugal**, [S.l.], mar. 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/4815/481549264005/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

OLIVEIRA, L. C. F. et al. **Obtenção de Monoésteres Metílicos (Biodiesel) a Partir do Óleo de Amendoim (Arachishypogaea L.) por Transesterificação em Presença de Catalisador Ácido e Básico**. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1116-1.pdf>>. Acesso em: 27 maio. 2017.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. **Tecnologias de Produção de Biodiesel**. Revista Virtual de Química, 2011.

SANTOS, L. F. dos et al. In: XI Congresso brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015, Campinas -SP. **Caracterização da glicerina proveniente da produção de biodiesel por transesterificação etílica do óleo de soja bruto**.

SILVA, C. D. D. da;. **O uso dos combustíveis fósseis e os impactos ambientais associados: catástrofes, vantagens, desvantagens e fontes alternativas viáveis.** Disponível em: <<http://www.artigos.com/artigos/17985-o-uso-dos-combustiveis-fosseis-e-os-impactos-ambientais-associados-catastrofes-vantagens-desvantagens-e-fontes-alternativas-viaveis>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

SILVA, E. B. da; CARNEIRO, F. C. M.; CARNEIRO, M. L.; CESAR, P. **O uso de biodiesel no Brasil.** Disponível em <<http://www.unisalesiano.edu.br/encontro2007/trabalho/aceitos/CC29424586825.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2017.

SILVA, P. R. F. da; FREITAS, T. F. S. de;. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, 2008.

SILVA, W. P. da. As **Reações Químicas do Biodiesel.** Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=6100>>. Acesso em 01 jun. 2017.

SOUSA, Lays Camila de. **Caracterização do biodiesel obtido a partir dos óleos de babaçu, algodão e fritura residual e posterior tratamento do efluente gerado no processo produtivo.** 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental)- Centro Universitário de Formiga - UNIFOR-MG, Formiga, MG, 2014.

THINKSTOCK. **De fórmulas químicas estruturais e modelo de glicerol molécula.** Disponível em: <<http://www.thinkstockphotos.com.pt/image/ilustra%C3%A7%C3%A3o-de-arquivo-structural-chemical-formula-and/483244118>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

TIUSSU, B. **Algodão: a alternativa atual.** Biodiesel Brasil, São Paulo, 2009.

VAINSENER, S. A. **História do algodão.** Disponível em: <[http://www.sincti.com/clientes/ampa/site/qs\\_historia.php](http://www.sincti.com/clientes/ampa/site/qs_historia.php)>. Acesso em: 26 maio. 2017.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, 2009.