



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA  
AFRO-BRASILEIRA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
MESTRADO ACADÊMICO EM SOCIOBIODIVERSIDADE E TECNOLOGIAS  
SUSTENTÁVEIS (MASTS)**

**SARA JANE DE OLIVEIRA**

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DA SEMENTE DO  
MAMÃO (*Carica papaya*) POR MEIO DE CATÁLISE ALCALINA  
HOMOGÊNEA**

**REDENÇÃO – CE**

**2019**

Sara Jane de Oliveira

PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DA SEMENTE DO MAMÃO  
(*Carica papaya*) POR MEIO DE CATÁLISE ALCALINA HOMOGÊNEA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS), da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira como requisito para obtenção do título de mestre em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, sob a orientação do Prof. Dr. Aluísio Marques da Fonseca.

REDENÇÃO – CE

2019

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Oliveira, Sara Jane de.

O42p

Produção do biodiesel a partir do óleo da semente do mamão carica papaya por meio de catálise alcalina homogênea / Sara Jane de Oliveira. - Redenção, 2019.

49f: il.

Dissertação - Curso de Sociobiodiversidade E Tecnologias Sustentáveis, Mestrado Acadêmico Em Sociobiodiversidade E Tecnologias Sustentáveis, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Alúisio Marques da Fonseca.

1. Biodiesel. 2. Carica Papaya. 3. Transesterificação. I.  
Título

CE/UF/BSCA

CDD 338.476655384

---

SARA JANE DE OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DA SEMENTE DO MAMÃO (Carica papaya)  
POR MEIO DE CATÁLISE ALCALINA HOMOGÊNEA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis.

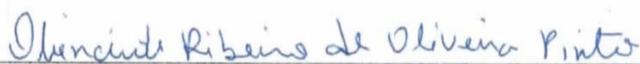
Aprovada em: 05/09/2019

**BANCA EXAMINADORA**



ALUISIO MARQUES DA FONSECA

Universidade da Integração internacional da Lusofonia Afro-brasileira  
(UNILAB - Presidente) – ORIENTADOR



OLIENAIDE RIBEIRO DE OLIVEIRA PINTO

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira  
(UNILAB - Examinador Interno)



JOSE CLEITON SOUSA DOS SANTOS

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira  
(UNILAB - Examinador Externo ao Programa)

Dedico este trabalho primeiramente á Deus. Aos meus queridos pais, Maria de Lourdes de Oliveira e José Claudio de Oliveira, á minha irmã Samara Maria de Oliveira, como uma pequena contribuição por todo o incentivo e cuidado recebido.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente á Deus pelo dom da vida e por ter me dado força e disposição para lutar em busca dos meus objetivos, pela coragem de sair da minha cidade, longe de toda a minha família e apesar de todas as dificuldades, me fez forte nos momentos de angústia e solidão.

Á meus pais, Lurdinha e Jose Claudio, por serem minha fonte de inspiração, de perseverança, que mesmo diante de tantas dificuldades sempre me apoiaram e me deram forças para seguir em frente em busca dos meus objetivos. Obrigada, sem vocês nunca teria sido possível sonhar.

Á minha irmã Samara pelo carinho, amor e apoio durante todo esse percurso.

Agradeço a toda minha família por todo incentivo.

Á Todos os amigos conquistados em Acarape, em especial ao primeiro amigo que fiz: Fábio Franklin, que desde o primeiro momento me recebeu com muita atenção, simpatia, carinho, cuidado e que desde sempre esteve muito disposto a me ajudar, seja com atitudes ou com palavras de ânimo, obrigada pelos risos, por ser essa pessoa maravilhosa e pelos diversos momentos vivenciados.

Á Kátia Melo que se tornou uma amiga presente e muito especial, que me deu forças para seguir uma vida mais saudável e mais leve ao me incluir como membro de sua família e proporcionar momentos com muitos risos, brindes e empatia.

Á Emanuela Ingrid, apesar de ter sido umas das últimas que conheci e que fiz amizade, não foi menos importante, em pouco tempo foi possível identificar a beleza em seu coração, uma menina que se tornou mulher mais cedo e que soube absorver essa responsabilidade da melhor forma possível, obrigada pelos momentos de espontaneidade, onde os risos eram inevitáveis, obrigada também por ser tão presente em minha vida, tão cuidadosa e tão atenciosa, uma amiga pra vida toda.

Ao Josafat Butrago, por todos os risos, conversas, espírito aventureiro, por estar sempre presente e disposto a ajudar em todas as vezes que precisei.

Á Kércia que com sua paciência, leveza e o espírito de viajante fez com que rapidamente construíssemos uma bela amizade.

Durante todo esse percurso tive o prazer de conhecer pessoas maravilhosas, que se tornaram verdadeiros amigos e que quero levar pra sempre em minha vida, uma verdadeira família que me deu carinho, atenção e muitos momentos inesquecíveis, pessoas que realmente fizeram com que a minha estadia longe da família fosse aliviada,

agradeço a todos da família MCB , vocês foram minha válvula de escape e mesmo que a distância venha a existir, estarão eternamente nas lembranças do meu coração.

Á minha eterna amiga Gessica Leonarda por me admirar, me apoiar e estar sempre presente, nos caminhos que escolho seguir, obrigada por ser essa amiga atemporal.

Á minha amiga Adriana Henrique, a qual eu tenho profundo sentimento de gratidão, por estar diariamente acompanhando minha batalha e me dando forças para superar as adversidades que encontro pelo caminho.

Á minha amiga, Jessica Pinheiro, pelo cuidado e pelo incentivo de me fazer continuar em busca das minhas realizações.

Á Nadla Camila, por todas as mensagens carinhosas, me repassando energia positiva.

Aos meus amigos da Licenciatura em Química, IFCE-Iguatu (Milkelison, Wesley, Aline, Jordan e Mayara). Por sempre me incentivarem a seguir em frente e por torcerem por mim.

Agradeço imensamente ao meu amigo Diogo Lopes, por ser esse ser humano incrível, por tamanha contribuição na efetivação deste sonho, obrigado por todas as palavras de carinho, atenção, incentivo e cuidado, a sua existência facilitou a realização dessa caminhada.

Ao meu orientador professor Aluísio Marques, por ser um professor que sempre estimula seus alunos na busca pela pesquisa e pela conquista de prêmios, pela paciência e por todos os ensinamentos durante a efetivação deste trabalho.

Á técnica de Laboratório da UNILAB, Camila Peixoto, pela contribuição a pesquisa e pelo suporte para as análises realizadas na UFC.

Á CEASA, por ter cedido as sementes de mamão, para que a pesquisa realmente fosse concretizada.

Á Timorense Margaretha, por todo o apoio e ensinamentos desde que cheguei ao laboratório, sempre muito prestativa e disposta a repassar todos os conhecimentos adquiridos.

Á todos os professores que compõem o MASTS, pela colaboração neste momento de minha formação.

Á todos os colegas do mestrado e do grupo de pesquisa, pelo convívio e amizade construída.

Agradeço aos membros componentes da banca, Olienaide e José Cleiton, por enriquecerem o meu trabalho com suas importantes contribuições.

Á todos que de alguma forma contribuíram para a efetivação deste trabalho.

“O sucesso é a soma de pequenos  
esforços repetidos dia após dia”  
(Robert Collier)

## RESUMO

A preocupação em substituir os combustíveis fósseis por combustíveis renováveis cresce a cada dia, dessa forma o biodiesel vem ganhando espaço no setor energético, por ser um combustível renovável, biodegradável, oriundo de óleos de origem vegetal ou animal, obtido normalmente através do processo de transesterificação. Contudo, o presente trabalho tem por objetivo a extração do óleo e produção do biodiesel, através do óleo da semente de mamão (*Carica papaya*), utilizando reação de transesterificação por catálise básica homogênea. As sementes utilizadas para a obtenção do óleo foram cedidas pela Central Estadual de abastecimento (CEASA) da Cidade de Maracanaú-CE (Av Mendel Steinbruch, s/n á 40 metros de altitude, 03° 52' 36" S e 38° 37' 32" W) as mesmas eram de frutos de descartes. A metodologia para obtenção do biodiesel iniciou-se na Universidade Internacional de Integração da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) e teve sequência no laboratório de referência em combustíveis de Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Após a coleta das sementes, as mesmas passaram por procedimentos de lavagem e secagem, para posterior extração do óleo, onde o rendimento deste, ao final do processo foi de 13,03%. A síntese do biodiesel realizada a partir da transesterificação através da catálise básica (KOH) realizada com metanol (1:3) na presença de 0,5% do catalisador com temperatura de 45°C demorou cerca de 18 minutos para se completar. Os resultados encontrados nas caracterizações para o biodiesel da semente do mamão foram: índice de acidez no valor de 0,64mgKOH/g, índice de peróxido 29,15meq/kg<sup>-1</sup>, viscosidade cinemática a 40°C 3,35mm<sup>2</sup>/s, massa específica a 20°C, 0,86g/cm<sup>3</sup>, índice de refração 1,43 e estabilidade a oxidação 36,24 horas. As caracterizações físico-químicas realizadas mostraram resultados dentro dos limites ou bem próximos aos exigidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Com isso, conclui-se que o óleo da semente do mamão surge como uma alternativa viável para a produção de um biodiesel com boa qualidade.

Palavras-chaves: Biodiesel, *Carica papaya*, Transesterificação.

## ABSTRACT

The concern to replace fossil fuels with renewable fuels grows every day, so biodiesel has been gaining ground in the energy sector, as it is a renewable, biodegradable fuel, derived from oils of vegetable or animal origin, normally obtained through the transesterification process. . However, the present work has the objective of extracting the oil and producing biodiesel through papaya seed oil (*Carica papaya*) using homogeneous basic catalysis transesterification reaction. The seeds used to obtain the oil were supplied by the State Supply Center (CEASA) of the City of Maracanaú-CE (Av Mendel Steinbruch, s / n at 40 meters altitude, 03 ° 52 '36 "S and 38 ° 37' 32 "W) they were the fruit of discard. The methodology for obtaining biodiesel started at the International University of African-Brazilian Lusophony Integration (UNILAB) and was followed up by the reference laboratory for fuels at the Ceará Industrial Technology Center (NUTECE). After collecting the seeds, they went through washing and drying procedures, for subsequent extraction of the oil, where its yield at the end of the process was 13.03%. The synthesis of biodiesel from transesterification through basic catalysis (KOH) performed with methanol (1: 3) in the presence of 0.5% of the catalyst at 45 ° C took about 18 minutes to complete. The results found in the characterization for papaya biodiesel were: acidity index of 0.64mgKOH / g, peroxide index 29.15mq / kg-1, kinematic viscosity at 40 ° C 3.35mm<sup>2</sup> / s, mass specific at 20 ° C, 0.86g / cm<sup>3</sup>, refractive index 1.43 and oxidation stability 36.24 hours. The physicochemical characterization performed showed results within or close to those required by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP). Thus, it is concluded that papaya seed oil appears as a viable alternative for the production of a good quality biodiesel.

Keywords: Biodiesel, *Carica papaya*, Transesterification.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Reação de Transesterificação .....	18
<b>Figura 2:</b> Mecanismo de Transesterificação por Catálise Básica.....	19
<b>Figura 3</b> – Mecanismo de Transesterificação por Catálise Ácida .....	20
<b>Figura 4</b> - Processos para obtenção do biodiesel.....	24
<b>Figura 5</b> - Trituração das sementes.....	25
<b>Figura 6</b> - Óleo sendo filtrado em sistema fechado.....	26
<b>Figura 7</b> - Processo de extração no rotaevaporador.....	26
<b>Figura 8</b> - Reação envolvida na titulação de ácidos graxos com solução alcalina de hidróxido de sódio. ....	28
<b>Figura 9</b> - Óleo sendo pesado para índice de acidez.....	29
<b>Figura 10</b> - Reação paralela de saponificação de uma molécula de triglicerídeo.....	30
<b>Figura 11</b> - Espectro de RMN de $^1\text{H}$ do óleo do mamão em $\text{CDCl}_3$ .....	37
<b>Figura 12</b> - Espectro de RMN de $^1\text{H}$ do Biodiesel do óleo do mamão em $\text{CDCl}_3$ .....	37
<b>Figura 13</b> - Espectro de RMN de $^{13}\text{C}$ do óleo do mamão em $\text{CDCl}_3$ .....	38
<b>Figura 14</b> - Espectro de RMN de $^{13}\text{C}$ do Biodiesel do óleo do mamão em $\text{CDCl}_3$ .....	38
<b>Figura 15</b> - Resultado da estabilidade oxidativa do óleo do mamão pelo Rancimat.....	39
<b>Figura 16</b> - Resultado da estabilidade oxidativa do Biodiesel do mamão pelo Rancimat .....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Especificações para o Biodiesel.....	17
<b>Tabela 2</b> - Resultado da Extração com Hexano P.A da semente de mamão .....	34
<b>Tabela 3</b> - Caracterização do óleo de mamão .....	35

## **LISTA DE SIGLAS**

**AIE** – Agência Internacional de Energia

**ANP** – Agência Nacional de petróleo

**ASTM** – American Society for Testing and Materials

**BM** – Biodiesel do Mamão

**CEASA** – Centrais de Abastecimento do Ceara

**FAO** – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

**NUTEC** – Núcleo de Tecnologia Industrial de Ceará

**RMN** – Ressonância Magnética Nuclear

**OMB** – Óleo do Mamão Bruto

**UFC** – Universidade Federal do Ceará

**UNILAB** – Universidade de Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Resíduos sólidos .....	15
3.2 Biodiesel .....	16
3.3 Principais Processos para Obtenção do Biodiesel .....	18
3.3.1 Reação de Transesterificação .....	18
3.4 Mamão ( <i>Carica papaya</i> ) .....	21
3.5 Matérias Primas para Produção de Biodiesel.....	23
4. METODOLOGIA .....	24
4.1 Local da Pesquisa .....	24
4.2 Reagentes .....	25
4.3 Separação da Semente do Mamão .....	25
4.4 Obtenção do óleo .....	25
4.5 Óleo Refinado .....	27
4.5.1 Neutralização .....	27
4.5.2 Branqueamento .....	27
4.6 Caracterizações Físico-Químicas do óleo e do Biodiesel da Semente do Mamão	27
4.6.1 Índice de Acidez .....	28
4.6.2 Determinação do Índice de Peróxido.....	29
4.6.4 Estabilidade Oxidativa.....	31
4.6.5 Determinação da Massa Específica e Viscosidade Cinemática .....	31
4.6.6 Índice de Refração.....	31
4.6.7 Determinação da Fluidiez .....	32
4.6.8 Cálculo da conversão em ésteres metílicos do óleo do mamão .....	32
4.7 Obtenção do Biodiesel de mamão .....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	34
5.1 Rendimento do óleo de mamão .....	34
5.2 Caracterizações Físico-químicas do óleo da semente do mamão .....	34
6 CONCLUSÕES .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

Pesquisadores como Carvalho, Bortolini e Barcellos (2015) relatam que a maior parte de toda a energia utilizada no mundo é oriunda de combustíveis fósseis, que é o caso do petróleo, carvão e gás natural, porém esses combustíveis são muito poluentes e acabam agredindo o meio ambiente. Além desse fator negativo, esses combustíveis possuem previsão de esgotamento num futuro não tão distante, e com isso surge a preocupação de toda a sociedade que procura meios para resolver tais problemas.

A produção de biodiesel no Brasil vem aumentando significativamente ano após ano, o que acaba gerando várias perspectivas de ordem social, ambiental e econômica. De acordo com Parente (2003) o biodiesel surge como uma alternativa viável, pois é um combustível renovável e biodegradável, ambientalmente correto, obtido normalmente da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, na presença de um catalisador. A produção de biodiesel no Brasil é uma oportunidade tanto tecnológica como estratégica, levando em consideração que é um país que produz uma extensa variedade de matérias primas que são utilizadas para a produção deste combustível.

Segundo Kobori e Jorge (2005) as indústrias alimentícias brasileiras produzem resíduos que poderiam ter uma finalidade mais benéfica ao homem e ao meio ambiente. No intuito de diminuir as perdas dos alimentos, Diógenes *et al.* (2013). salientam que as partes não convencionais de frutas e hortaliças, como as sementes e cascas, têm sido introduzidas como ingredientes em algumas formulações, com a finalidade de enriquecer a dieta habitual.

O *Carica papaya* é um fruto com alto valor nutritivo e de alto consumo, pode ser considerado uma fonte de matéria prima, para obtenção do biodiesel, tendo em vista suas características físico-químicas e a quantidade de óleo existente em suas sementes. Segundo dados da FAOSTAT (2015) - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, o Brasil é o segundo maior produtor, ficando atrás apenas da Índia na produção de mamão, e entre os estados que mais produz o Ceará fica em terceiro lugar, sendo os primeiros respectivamente: Bahia e Espírito Santo (IBGE, 2017).

Nas lavouras o seu cultivo ocorre durante todo o ano, o que gera emprego em todo o estado e cada fruto possui uma quantidade considerável de sementes.

Estudos de Torres (2010) mostram que a semente do mamão é vista como sem utilidade tanto nas indústrias como no consumo doméstico, onde apenas a poupa é utilizada, sem contar no preço acessível ao produto, são fatores que levaram a pensar sobre utilizar esse resíduo como matéria prima na fabricação do biodiesel.

Poucas pesquisas trabalham com o mamão para síntese do biodiesel, porém em pesquisas já realizadas como por Winayanuwattikun *et al.* (2008) pode-se concluir que o óleo da semente de mamão apresenta um alto teor em ácido oleico (72,91%), percentual razoável de ácidos graxos saturados (21,56%) e pouco de ácidos graxos poli-insaturados (5,12%) percentual de características físico-químicas acima de algumas sementes já bastante utilizadas. De acordo com Chiele (2014), um único fruto pode produzir 1000 sementes ou mais. Fator muito importante tendo em vista que quanto mais sementes maior quantidade de óleo produzida.

Diversas são as vantagens na produção de biodiesel, porém deve-se ter um cuidado com o método utilizado para dar origem ao biodiesel. Pesquisadores como Daubdoub e Bronzel (2009) tem focado a atenção para a transesterificação, pois se trata de um processo que apresenta bons rendimentos e baixos custos, para, posteriormente, determinar se as propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir de determinada matéria prima se enquadram ou não dentro dos parâmetros estabelecidos nas normas de qualidade ASTM D 6751, EM 14214, ANP 07/2008. Os parâmetros analisados na pesquisa foram: índice de acidez, índice de peróxido, viscosidade cinemática a 40°C, massa específica a 20°C, índice de refração e estabilidade a oxidação.

Dessa forma, o presente trabalho visa a produção de biodiesel, fazendo uso do óleo da semente do mamão, através do processo de transesterificação, com o intuito de encontrar mais uma fonte alternativa, para que com isso haja uma diminuição nos impactos ambientais causados pelos combustíveis comuns e ainda contribuir com o avanço tecnológico na área.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar e produzir biodiesel, a partir do óleo da semente de mamão (*Carica papaya*), utilizando reação de transesterificação por catálise básica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Extrair e caracterizar a composição físico-química das sementes do mamão;
- ✓ Determinar o rendimento dos óleos da semente do mamão;
- ✓ Sintetizar o biodiesel do óleo da semente do mamão;
- ✓ Realizar o teste de queima;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão discutidos os assuntos principais correspondentes ao trabalho, facilitando, dessa forma, o melhor entendimento do contexto, procedimentos e resultados obtidos.

#### 3.1 Resíduos sólidos

Na linguagem técnica os resíduos sólidos são sinônimos de lixo, e são representados por materiais descartados pelas atividades humanas, os quais podem ser reciclados e parcialmente utilizados (LOPES, 2006). Através de um estudo da Agência Internacional de Energia (AIE), apenas a energia produzida a partir de fontes renováveis e de resíduos tem maior potencial entre outros recursos renováveis (AIE, 2008).

Dados reportados na literatura comprovam a viabilidade técnica da utilização de resíduos industriais e residenciais para produção de biodiesel (KULKARNI *et al.*, 2006; LEBEDEVAS e VAICEKAUSKAS, 2006; LIN *et al.*, 2007). A quantidade disponível de insumos residuais, no Brasil, é pequena, quando comparada ao consumo de óleo diesel, é de cerca de 1% do consumo, ou 500 milhões de litros por ano, (HIDROVEG, 2006), dado esse que mostra que o diesel continua de forma majoritária no mercado, mesmo com a utilização de todos os resíduos para produção de biodiesel. Embora seja considerado com pouca representatividade em grande escala, os resíduos sólidos, podem ser consumidos imediatamente, possuem menor custo, além de estarem disponíveis juntos aos aglomerados urbanos.

O Brasil possui variedades de culturas agrícolas, gerando grandes quantidades de resíduos, onde alguns não são aproveitados mesmo tendo um potencial energético (SILVA, 2019).

Fontes de energia renováveis como a energia solar, energia eólica, energia hídrica, e energia da biomassa e dos resíduos tem sido desenvolvidas com sucesso e utilizadas por diferentes nações para limitar o uso de combustíveis fósseis. (LAM, LEE, MOHAMED, 2010).

De acordo com Castellaneli (2016) o consumo de combustíveis fósseis derivado de petróleo afeta diretamente o meio ambiente, por outro lado a transformação de resíduos sólidos em biocombustíveis permite diminuir a emissão

de gases de efeito estufa, reduzindo dessa forma os impactos ambientais trazidos pelos outros combustíveis.

### 3.2 Biodiesel

O crescente desenvolvimento social e tecnológico, acompanhado pelo aumento da população mundial, tem resultado em uma grande demanda de energia e aumento da poluição. Desse modo, a busca por fontes alternativas de energias, limpas e renováveis, tem aumentado gradativamente. Pensando no futuro esgotamento de fontes fósseis, a Resolução de n. 14/2017 do Conselho Nacional de Política Energética-CNPE (2017) prevê a *necessidade em se aperfeiçoar o mercado de combustíveis, de modo a promover as bases para uma adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis no Brasil, nos próximos anos.*

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a partir de 2008, a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel passou a ser obrigatória. Começando em 2008 com o percentual de 2% para ser adicionado e a partir de março de 2017 esse percentual subiu para 8% em volume, conforme a lei 13.263/2016. O biodiesel é o combustível eficiente, sustentável e renovável que mais vem ganhando espaço na geração de renda, empregos e renovação de resíduos agroindustriais (Souza *et al.*, 2016). Vem sendo alvo de diversas discursões em congressos e perante o governo brasileiro, por se apresentar como uma alternativa de qualidade ambiental que possibilita o desenvolvimento sustentável e a inclusão social. Uma das grandes vantagens do biodiesel é sua adaptabilidade aos motores do ciclo Diesel, pois, enquanto que o uso de outros combustíveis limpos como o gás natural, ou biogás, requer adaptação dos motores, a combustão do biodiesel pode dispensá-la (SALES, 2006).

O biodiesel pode ser definido como derivado de biomassa renovável, que pode substituir parcial ou totalmente, combustíveis de origem fóssil em motores a combustão interna ou para geração de outro tipo de energia, de acordo com a definição adotada na lei n° 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (CASA CIVIL, 2005)

De acordo com Silva *et al.* (2016), a definição mais “generosa” de escrever, o biodiesel é um combustível renovável derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, usado em motores do ciclo-diesel, ou tecnicamente, é estabelecido como um combustível composto de ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa derivado de óleos vegetais ou gorduras animais. A reação ocorre na presença de um

catalisador, podendo o mesmo ser ácido, básico ou enzimático e quando se faz uso da rota química como reagente também é utilizado um álcool de cadeia curta, na maioria dos casos o metanol ou etanol. (SILVA *et al.* 2016)

O processo de produção do biodiesel a partir de óleos e gorduras compreende etapas simples de preparação da matéria prima, sendo elas o refino do óleo e em seguida a reação de transesterificação. Todos os procedimentos válidos para a transformação do óleo vegetal extraído da semente até sua transformação em biodiesel, e posterior retirada de elementos residuais, são também adequados para a produção do biodiesel a partir do óleo vegetal refinado a partir de óleos e gorduras residuais (ALVES *et. al.*, 2008).

Os fatores importantes e que deverão nortear as pesquisas, os avanços e, conseqüentemente, o sucesso do biodiesel no que diz respeito à escolha da matéria-prima são: composição química do óleo extraído da fonte em questão; elevado rendimento energético por unidade de área; produção abundante de óleos a custos reduzidos (DAUBDOUB; BRONZEL, 2009).

A Tabela 1 apresenta as especificações dos valores permitidos de acordo com as normas vigentes.

**Tabela 1** – Especificações para o Biodiesel

CARACTERIZAÇÕES	UNIDADE	LIMITE
Índice de acidez	mgKOH/g	0,5
Viscosidade cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,0-6,0
Densidade a 20°C	g/cm <sup>3</sup>	860-900
Estabilidade a oxidação	Horas	8
Fluidez	°C	-3

**Fonte:** Adaptado de ANP (2006)

Vale destacar que inicialmente a ANP fez uso de normas europeias e americanas, porém a produção internacional é voltada para o girassol e a canola, diante disso as características são diferentes do biodiesel brasileiro que faz uso de outras matérias primas.

### 3.3 Principais Processos para Obtenção do Biodiesel

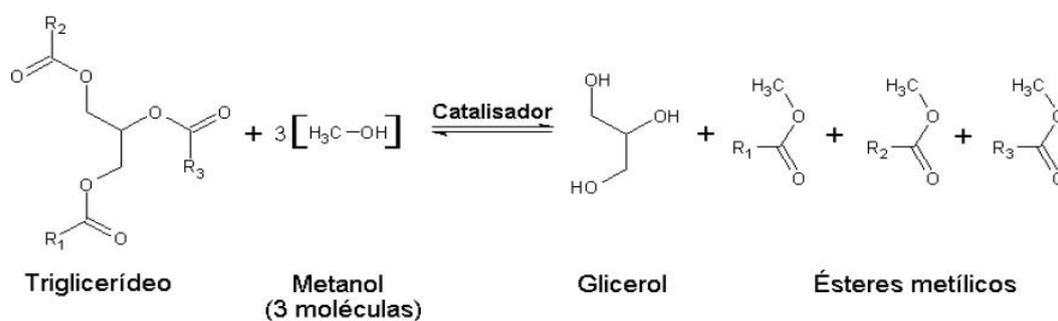
#### 3.3.1 Reação de Transesterificação

A transesterificação dos triacilgliceróis é conduzida em presença de catalisadores (básicos, ácidos e enzimáticos) em condições que podem ser homogêneas ou heterogêneas na qual utiliza o excesso de álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) resultando na produção de ésteres alquílicos de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol. Para que este processo seja tecnicamente viável, o óleo deve conter baixo teor de ácidos graxos livres, evitando o processo de alcoólise, e baixo teor de umidade, para evitar a hidrólise do alcóxido. Além disso, a presença de água pode induzir a hidrólise dos monoésteres produzidos, aumentando assim a possibilidade da formação de emulsões como sabão, diminuindo o rendimento do processo (SCHUCHARDT, 1998).

De acordo com Beltrão e Krause (2008) a reação de transesterificação é a etapa onde realmente vai haver a conversão do óleo em biodiesel, complementam com a informação de que o processo de transformação de óleos vegetais ou de gordura animal em biodiesel, por transesterificação, é relativamente simples, mas requer rigor com as características das matérias primas, sobretudo se o objetivo for comercializar um biodiesel que efetivamente atenda às exigências legais do país e do mercado internacional (BELTRÃO, 2008; KRAUSE, 2008).

A partir dos ésteres será gerado o biodiesel, com as características adequadas para sua utilização como combustível (Ribeiro, 2006). A reação de transesterificação pode ser visualizada na Figura 1.

**Figura 1** - Reação de Transesterificação



Fonte: Adaptado Silva (2010)



### 3.3.1.2 Transesterificação ácida

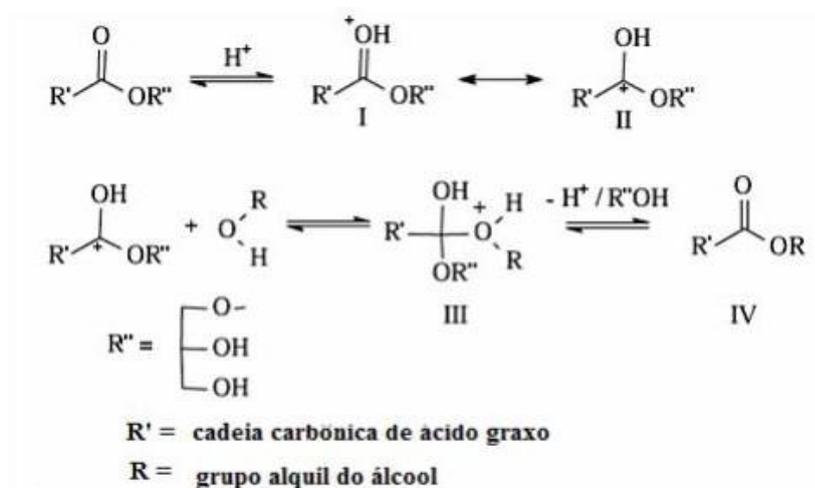
Outra rota Química bastante utilizada na produção de biodiesel é a rota ácida, uma vantagem evidente em relação ao uso de catalisadores alcalinos é que a quantidade de ácidos graxos livres no meio não é relevante, pois estes podem ser esterificados no mesmo vaso de reação. Isto possibilita o uso de matérias-primas de menor valor agregado no processo (RAMO *et al.*, 2011).

A desvantagem da catálise ácida com relação a básica é o longo tempo de reação, temperaturas bastante elevadas e grande quantidade de álcool na reação para que haja rendimento satisfatório (CUNHA, 2008).

O mecanismo para a reação de transesterificação (Figura 3) acontece a partir da reação de transesterificação de um monoéster. Este mecanismo pode ser estendido para mono e diglicerídeos. A protonação do grupo carbonila do éster, leva ao carbocation (II) que, depois do ataque nucleofílico do álcool, produz o tetraedro intermediário (III), que elimina o glicerol para formar um novo ester (IV) e regenerar o próton (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) (MELO, 2010).

De acordo com esse mecanismo, ácidos carboxílicos podem ser formados pela reação do carbocation com a água presente na mistura. Isso sugere que uma transesterificação catalisada por ácido, da mesma forma que a catalisada por base, deve ser realizada com ausência de água, de maneira a evitar a formação competitiva de ácidos carboxílicos. (SCHUCHARDT *et al.*, 2004).

**Figura 3** – Mecanismo de Transesterificação por Catálise Ácida



Fonte: Melo (2010)

### 3.4 Mamão (*Carica papaya*)

O mamão, (*Carica papaya*), cultivado comercialmente, é uma planta oriunda da América do Sul, sendo distribuída por todo o mundo. De acordo com Litz (1984) e Medina (1989) seu cultivo efetua-se em áreas que possuem temperatura média anual em torno de 25°C.

O mamão é uma excelente fonte de  $\beta$ -caroteno, ácido ascórbico (ALOBO, 2003), potássio, outros minerais e fibras. Além disso, contém papaína, uma importante enzima utilizada como suplemento digestivo eficiente (ANUAR, 2008). De acordo com Puangsrri (2005) seu sabor doce é muito atrativo Aloba (2003) complementa que a fruta pode ser de cor amarela esverdeada, amarela ou laranja quando madura.

De acordo com Queiroz (2009) o cultivo do mamoeiro no Brasil, além de sua grande importância econômica, deve ser ressaltado o aspecto social, como gerador de emprego e renda, absorvendo mão de obra durante o ano todo, pela constante necessidade de manejo, tratamentos culturais, colheita e comercialização, efetuadas de maneira contínua nas lavouras, além dos plantios serem renovados, em média, a cada três anos (QUEIROZ, 2009)

Diante de estudos realizados por Melo (2010) as sementes de mamão apresentam uma média em porcentagem de óleo de 27% e 25%, superior ao de algumas oleaginosas, como soja e algodão (MELO, 2010). A investigação da composição de ácidos graxos de ácidos do óleo de sementes por Winayanuwattikun *et al.* (2008), demonstrou que óleo de sementes de mamão apresentava um elevado teor em ácido oléico (72,91%), com um percentual razoável de ácidos graxos saturados em torno de 21,56% e com apenas de 5,12% de ácidos graxos poliinsaturados. Esses dados indicam que o aproveitamento do óleo da semente do mamão resultara em um combustível de ótima qualidade, quando comparadas com outras fontes de matéria primas já utilizadas.

Segundo Melo (2010) as propriedades físico-químicas de um óleo vegetal são de grande importância na avaliação prévia do estado de conservação, estabilidade do óleo vegetal e composição de ácidos graxos os quais tem uma influência significativa nas características do produto derivado deste óleo como é o caso do biodiesel, em que propriedades como viscosidade, índice de cetano, fluidez

e calor de combustão podem ser preditas pela análise anterior de alguns parâmetros fundamentais na qualidade do biodiesel (MELO, 2010)

De acordo com Matherson *et al* (1996) O óleo considerado ideal pela indústria de alimentos com relação à manutenção da saúde é o óleo de oliva.

Os ácidos graxos majoritários do óleo de oliva são: o oléico, palmítico e esteárico presentes nos respectivos teores: 71,8, 12,1 e 2,7 % (NIEKERK; BURGER, 1985). Este tipo de óleo seria de bom aproveitamento para a síntese do biodiesel, pois apresenta um teor de ácidos graxos de cadeias longas entre 16 e 18 átomos de carbono de 15,3% semelhante ao óleo de soja e um alto teor de ácido graxo monoinsaturado 72,7% representado majoritariamente pelo ácido oleico. Estes dados confeririam ao biodiesel de oliva, ótimas características, no entanto a matéria prima para produção desse óleo apresenta alto valor comercial, sendo permitido o uso exclusivo para a indústria alimentícia e é restrita a regiões da Europa e Oriente Médio.

O óleo de mamão apresenta uma composição em ácidos graxos majoritário muito semelhante qualitativamente e quantitativamente ao óleo de oliva, sendo uma fonte de matéria-prima abundante tanto o aproveitamento do óleo para uso alimentício e/ou para a síntese do biodiesel (MELO, 2010).

### 3.5 Matérias Primas para Produção de Biodiesel

De forma geral, pode-se afirmar que quaisquer óleos e gorduras vegetais ou animais podem ser utilizados para produção de biodiesel (ésteres alquílicos). O Brasil, devido à sua grande extensão territorial, apresenta uma ampla diversidade de oleaginosas que podem ser utilizadas para produção de biodiesel (TARGINO, 2016).

As matérias-primas para produção de biodiesel são primariamente categorizadas em quatro grandes grupos: óleo vegetal (comestível ou não); gordura animal; óleo residual, e óleo de algas (Ghazali *et al.*, 2015). No Brasil, os óleos vegetais mais comumente usados para a obtenção do biodiesel são os óleos de soja, sebo bovino e algodão, com pequena quantidade de outras oleaginosas (dendê, mamona e girassol) (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Embora mais de 350 oleaginosas fossem identificadas, apenas soja, palma, girassol, cártamo, algodão, canola, sebo animal e óleo de amendoim são consideradas fontes potenciais de óleos para produção do biodiesel (DEMIRBAS, 2009). Vale destacar que grande parte (80%) da produção brasileira de biodiesel tem como principal fonte oleaginosa a soja (Moura *et al.*, 2016; ANP, 2018c). Por mais que esta seja uma cultura de preço competitivo e com capacidade de cultivo em grandes escalas, faz-se necessária a exploração de outras matérias-primas para a fabricação do biocombustível, pois o País ainda não conta com políticas de desenvolvimento que fomentam a diversificação de fontes na cadeia produtiva do biodiesel (Batistella, 2018).

Outro exemplo de uso de matérias-primas de baixo custo seria o uso de ácidos graxos destilados obtidos no processo de refino de óleos vegetais, estes são subprodutos com baixo valor comercial em comparação aos óleos refinados, como exemplo, pode-se citar os ácidos oleico, palmítico, esteárico e láurico (REIS *et al.*, 2015).

## 4. METODOLOGIA

O trabalho caracteriza-se como pesquisa experimental, fundamentando-se em metodologias qualitativas e quantitativas para caracterizar o óleo da semente do mamão e seu respectivo biodiesel. A seguir encontra-se o desenvolvimento do presente trabalho.

### 4.1 Local da Pesquisa

As sementes de *Carica papaya* foram cedidas pela Centrais de Abastecimento do Ceara (CEASA) do município de Maracanaú-CE (Av Mendel Steinbruch, s/n á 40 metros de altitude, 03° 52' 36" S e 38° 37' 32" W), as sementes utilizadas na pesquisa eram de frutos sem utilidade, que foram descartados.

As análises tiveram início no laboratório de Química Orgânica da Universidade de Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira-UNILAB no campus das Auroras e teve sequência no Laboratório de referência em combustíveis de Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará-NUTEC.

A metodologia para produção do biodiesel pode ser observada na Figura 5, onde encontram-se o resumo dos principais processos.

**Figura 4** - Processos para obtenção do biodiesel



**Fonte:** Autora (2019)

## 4.2 Reagentes

Os reagentes e solventes utilizados foram todos da marca DINÂMICA, sendo eles: Hexano P.A ( $C_6H_{14}$ ) 98,5%; Hidróxido de Sódio (NaOH) 98%; Hidróxido de Potássio (KOH) 97%; Diatomita; Metanol P.A ( $CH_3OH$ ) 99,8%; Ácido Clorídrico (HCl) 99%; Iodeto de Potássio (KI) 99,5%; Amido Solúvel; Tiosulfato de sódio ( $Na_2S_2O_3$ ); Ácido Acético ( $CH_3CO_2H$ ) 99,8%; Clorofórmio ( $CHCl_3$ ) 99%; Cloreto de sódio (NaCl); Água destilada ( $H_2O$ ) e Sulfato de Sódio Anidro P.A ( $Na_2SO_4$ ) 99%.

## 4.3 Separação da Semente do Mamão

Após as sementes do mamão ser coletadas na CEASA, foi realizado o procedimento de lavagem e logo em seguida a secagem na estufa, onde elas ficaram durante um período de 4 dias, com a temperatura de  $80^{\circ}C$ , depois de estarem bem secas, as mesmas são trituradas com o auxílio de um liquidificador (Figura 6) para em seguida iniciar o processo de extração.

**Figura 5** - Trituração das sementes



Fonte: Autora (2018)

## 4.4 Obtenção do óleo

As sementes foram colocadas dentro de um recipiente de vidro fechado com a adição de solvente orgânico apolar (hexano P.A), a mistura ficou em descanso por 48 horas á temperatura ambiente, passado o tempo necessário a mistura foi filtrada em um sistema fechado, utilizando-se papel filtro e papel alumínio para evitar a perda de solvente como pode ser observado na Figura 7. Depois de filtrada, a

mistura foi direcionada para o rotaevaporador, com temperatura de 60°C e 30 rpm, até a completa evaporação do solvente Figura 8 . Em seguida com o óleo bruto já extraído, a mistura foi filtrada novamente, fazendo uso de sulfato de sódio anidro e direcionada para a estufa a uma temperatura de 80°C, afim de eliminar qualquer umidade ainda existente. Esse procedimento de extração foi realizado quatro vezes com a mesma moagem, fazendo a troca apenas do solvente, sendo que na primeira vez adicionou-se 800 ml do solvente e nas outras três, apenas 500 ml por vez.

**Figura 6** - Óleo sendo filtrado em sistema fechado



**Fonte:** Autora (2018)

**Figura 7** - Processo de extração no rotaevaporador



**Fonte:** Autora (2018)

## 4.5 Óleo Refinado

Para uma melhor qualidade do óleo para produção do biodiesel, fez-se necessário passar pelo processo de refinamento, que obteve como etapas a neutralização e o branqueamento. Para o refino do óleo foram adotadas metodologias por Damodaran, Parkin e Fennema (2010); Morais *et al.* (2001); Dias (2009); Rodrigues (2013) e Moretto e Fett (1998).

### 4.5.1 Neutralização

Conhecendo o valor do índice de acidez e a massa do óleo bruto, foi adicionado uma quantidade pré-determinada de hidróxido de sódio (NaOH) 20%. As misturas foram agitadas no agitador magnético por 250 rpm de 60°C durante 45 minutos. Passados os 45 minutos a temperatura foi desligada e a amostra ficou apenas sob agitação até atingir a temperatura ambiente, em seguida a amostra ficou em repouso por três horas. A metodologia utilizada foi a de DAMODARAN, PARKIN & FENNEMA (2010).

### 4.5.2 Branqueamento

Depois do óleo neutralizado foi adicionado 1% de Diatomita e colocado no agitador magnético a temperatura de 70°C por 30 minutos. Após os 30 minutos, a temperatura foi desligada e permaneceu sob agitação até a amostra atingir a temperatura ambiente. A amostra permaneceu durante 5 horas em repouso, em seguida foi filtrada fazendo uso do papel filtro por um período de 24 horas, logo depois o óleo refinado foi coletado para a produção do biodiesel. Etapa adaptada da metodologia de MORAIS *et al* (2001).

## 4.6 Caracterizações Físico-Químicas do óleo e do Biodiesel da Semente do Mamão

O óleo e o biodiesel da semente do mamão foram caracterizados ao índice de acidez, índice de peróxido, estabilidade a oxidação, massa específica a 20°C e viscosidade cinemática a 40°C.

As características físico-químicas são de extrema importância para analisar se o biodiesel produzido está de acordo com as normas estabelecidas. Em seguida pode-se observar os ensaios realizados.

#### 4.6.1 Índice de Acidez

A determinação da acidez pode fornecer um dado importante na avaliação do estado de conservação do óleo. Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera quase sempre a concentração dos íons hidrogênio. A decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, sendo a rancidez quase sempre acompanhada pela formação de ácidos graxos livres (LUTZ, 2004).

Este método é empregado para determinação do índice de acidez de óleos e gorduras vegetais. O índice de acidez corresponde ao número de miligramas de KOH necessário para neutralizar a acidez de 1 g de uma amostra de óleo ou gordura (mg KOH/g), sendo essa acidez reflexo da presença de ácidos graxos livres na amostra. O índice de acidez também pode ser fornecido em termos de % de ácidos oléicos (massa molecular = 282g/mol). A reação ocorrida durante a determinação é uma neutralização simples. Os ácidos graxos livres reagem com a base titulante, hidróxido de sódio ou de potássio, formando sais e água. (MORETTO; FETT, 1989). conforme a Figura 9.

**Figura 8** - Reação envolvida na titulação de ácidos graxos com solução alcalina de hidróxido de sódio.



**Fonte:** Valle (2015)

Pesou-se 2,0174g do óleo em um erlenmayer de 125 mL, (Figura 10). Adicionou-se 25 mL de éter:álcool (2:1) neutro. Acrescentou-se 2 gotas de fenolftaleína e fez-se a titulação com NaOH 0,1 M até o aparecimento da coloração rósea, a metodologia utilizada foi adaptada por INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). O cálculo realizado pode ser observado na Equação 1 a seguir:

$$I. A = \frac{Vg \times f \times M \times 5,61}{P_A} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde

I.A = índice de acidez.

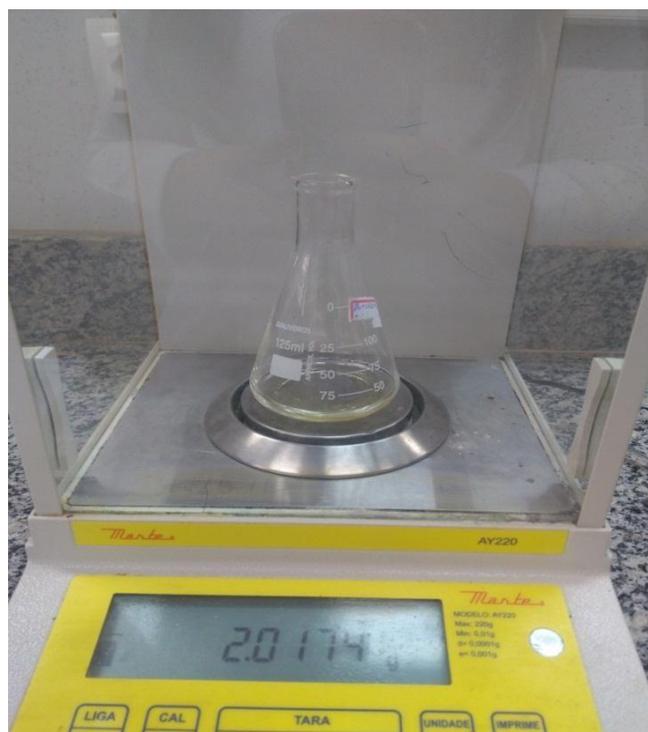
Vg = volume gasto na titulação de hidróxido de sódio de 0,1 M ou 0,01 M.

f = fator de correção de solução NaOH em 0,1, M.

5,61 = massa referente a solução de KOH  $0,1\text{molL}^{-1}$ .

P<sub>A</sub> = massa da amostra em gramas.

**Figura 9** - Óleo sendo pesado para índice de acidez



**Fonte:** Autora (2018)

#### 4.6.2 Determinação do Índice de Peróxido

O índice de peróxido é a medida da quantidade de substâncias, em termos de miliequivalentes de peróxidos por 1000 g ( $\text{Meq}/10^3\text{g}$ ) de amostra, este método oxida o iodeto de potássio nas condições do teste. Essas substâncias são consideradas como peróxidos ou produtos similares provenientes da oxidação de gordura (MORETTO; FETT, 1989).

Em um frasco de erlenmeyer de 250 mL pesou-se uma amostra do óleo na faixa de  $5 \pm 0,05$  g. Adicionou-se 30 mL da solução de ácido acético-clorofórmio 3:2 e agitou-se até dissolver completamente. Em seguida adicionou-se 0,5 mL de uma solução saturada de KI e a mesma ficou em repouso na presença de luz por um

minuto. Acrescentou-se 30 mL de água destilada e titulou-se com uma solução de tiosulfato de sódio de 0,01N, sob agitação constante. A titulação continuou até que a coloração amarela desaparecesse. Adicionou-se 0,5 mL do indicador amido para titulação e continuou até o desaparecimento da cor azul e em seguida o processo foi repetido com o biodiesel, a metodologia utilizada foi adaptada por INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008)

A determinação do índice de peróxido pode ser visualizada na Equação 2 a seguir:

$$I.P = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times f \times 1000}{P_A} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

I.P = índice de peróxido

$V_1$  = gastos de titulação da solução de tiosulfato de sódio 0,01 N

$V_2$  = gastos da titulação em branco

N = normalidade da solução titulante

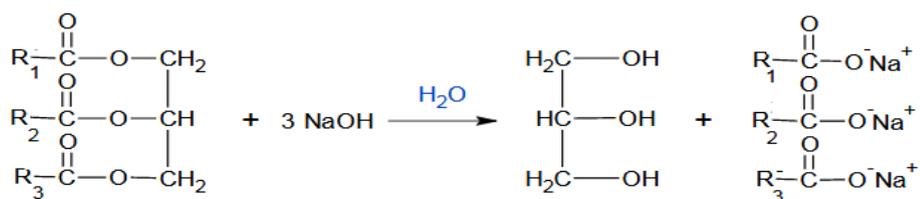
f = fator da solução de tiosulfato de sódio

$P_A$  = número em gramas da amostra

#### 4.6.3 Índice de Saponificação

O índice de saponificação nos indica a quantidade de base a ser utilizada para saponificar completamente o óleo, sendo definido como a quantidade de miligramas de hidróxido de potássio requerido para saponificar um grama de óleo ou gordura (MORETTO; FETT,1989).

**Figura 10** - Reação paralela de saponificação de uma molécula de triglicerídeo



Fonte: Valle (2015)

#### **4.6.4 Estabilidade Oxidativa**

O tipo desta oxidação é um mecanismo que envolve a adição direta de oxigênio (O<sub>2</sub>), alguns fatores que causam durante o longo tempo de armazenamento, ao efeito do calor, na presença de algumas impurezas principalmente os traços de metais e insaturações que podem estabilizar no processo e qualidade dos biocombustíveis (KNOTHE *et al.* 2006)

A análise foi realizada de acordo com a norma EN 14112. O equipamento utilizado foi o Biodiesel Rancimat da marca METROHM®

#### **4.6.5 Determinação da Massa Específica e Viscosidade Cinemática**

A massa específica está relacionada com a composição dos ésteres graxos e das impurezas do material, quanto maior a cadeia carbônica, maior será sua massa específica.

A viscosidade é um parâmetro muito importante no que diz respeito ao funcionamento de motores a diesel. Esta análise foi realizada de acordo com a norma NBR 10441.

A massa específica e a viscosidade cinemática foram a 40°C, a metodologia utilizada foi baseada nas normas NBR 14065 e ASTM D445.

#### **4.6.6 Índice de Refração**

O índice de refração é característico para cada tipo de óleo, dentro de certos limites. Está relacionado com o grau de saturação das ligações, mas é afetado por outros fatores tais como: teor de ácidos graxos livres, oxidação e tratamento térmico. Quando a luz muda de meio de propagação sofre geralmente uma mudança na direção de propagação, denominando-se esse fenômeno de refração. Os óleos e gorduras possuem diferentes poderes de refringência de acordo com sua natureza. Podem desviar com maior ou menor intensidade os raios luminosos. Dessa forma o índice de refração é utilizado para determinar o grau de pureza de substâncias, sendo um método simples e rápido (LUTZ, 2004).

As análises do índice de refração foram realizadas conforme a norma A.O.C.S. Cc 7 – 25.

#### 4.6.7 Determinação da Fluidez

A análise foi realizada de acordo com a norma ASTM D-97, no aparelho CPP5Gs.

#### 4.6.8 Cálculo da conversão em ésteres metílicos do óleo do mamão

Conforme Knothe (2006), a conversão em ésteres metílicos é encontrada a partir dos valores de integrais observados no espectro de RMN de  $^1\text{H}$  dos ésteres metílicos (Figuras 9 e 10). A conversão é calculada a partir da Equação 3 que relaciona as integrais dos picos dos ésteres metílicos (DE TORRES *et al.*, 2012).

$$C_{EM}(\%) = 100 * \frac{(I_{EM} * 2)}{(3 * I_{\alpha CH_2})} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde

$C_{EM}(\%)$  = Concentração em ésteres metílicos

$I_{EM}$  = Integral dos ésteres metílicos

$I_{\alpha CH_2}$  = Integral dos metilenos adjacentes a carbonila

#### 4.7 Obtenção do Biodiesel de mamão

Existem vários processos para a obtenção do biodiesel, porém o presente trabalho trata do método de transesterificação utilizando como catalisador uma base (NaOH). De acordo com Knothe et al (2006), o processo de transesterificação utilizando a catálise básica ocorre com razões molares de álcool:óleo de 1:6 com temperatura de  $\geq 60^\circ\text{C}$ , onde a reação demora até 1 horas para ser finalizada. Abaixo se encontram todas as etapas para o processo de transesterificação, onde fez-se uso da metodologia adaptada (KNOTHE et al., 2006).

Adicionou-se 23,45g do óleo da semente de mamão em um becker, onde o mesmo foi aquecido a uma temperatura de  $45^\circ\text{C}$  a banho maria, durante 5 minutos, ao óleo aquecido, adicionou-se uma solução preparada de metóxido de potássio por 30 minutos na presença do agitador magnético com o auxílio de uma barra magnética. A mistura foi transferida para um funil de decantação, onde esperou-se cerca de 18 minutos para a separação de fases a superior contendo o biodiesel e a inferior o glicerol e separou-se o biodiesel.

Em seguida adicionou-se 15 mL de HCl 0,5% na mistura, agitou-se e recolheu a solução aquosa, o procedimento foi repetido com 15 mL de uma solução saturada de NaCl, após a separação da solução de NaCl, adicionou-se água destilada, agitou-se e esperou a separação de fases para verificar o pH da água, onde é possível verificar a eliminação do catalisador.

Para remoção de alguma umidade ainda presente o biodiesel foi filtrado utilizando-se o sulfato de sódio anidro.

Logo após a obtenção do biodiesel foi realizado o teste de queima, onde o biodiesel do óleo do mamão apresentou reação de combustão rápida, quando comparados a biodiesel de óleo residual e biodiesel da semente de pinhão roxo e também uma chama de cor amarelada, o mesmo permaneceu aceso por mais tempo também quando comparados aos dois tipos citados anteriormente, diante do observado no presente teste, comprova-se a conversão do óleo em ésteres metílicos e a durabilidade no uso de motores na combustão.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Rendimento do óleo de mamão

De acordo com a metodologia descrita foram realizadas ao todo um total de quatro extrações, a primeira com 800 mL de solvente e as demais com 500 mL sendo que a cada nova extração observa-se que o rendimento diminuí, os resíduos da semente do mamão permaneceram sempre por 48 horas em repouso no solvente, tempo esse que otimiza o percentual de óleo a ser extraído, os rendimentos obtidos podem ser visualizados na Tabela 2.

A diminuição de rendimento a cada nova extração pode ser resultado da evaporação rápida do solvente utilizado, Hexano PA, mesmo com essa diminuição o resultado obtido com um rendimento de óleo de 13,03% utilizando 53,66 g de massa, ainda sim é um bom resultado, tendo em vista que sementes bastante utilizadas na produção de biodiesel como a de soja e algodão apresentam rendimento entre 18% a 20% (MORETTO; FETT, 1989) e recentemente pesquisas com o óleo do pinhão roxo, resultou em rendimento de 10,38% (FONSECA *et al*, 2019).

**Tabela 2** - Resultado da Extração com Hexano P.A da semente de mamão

Extrações	Massa (g)	Rendimento (%)	Tempo (horas)
I	21,15	5,14	48
II	16,40	3,98	48
III	11,38	2,76	48
IV	4,73	1,15	48
	<b>53,66 g</b>	<b>13,03%</b>	

**Fonte:** Autora (2018)

### 5.2 Caracterizações Físico-químicas do óleo da semente do mamão

Pode-se observar nos resultados da Tabela 3, que todas as caracterizações obtiveram um decréscimo ao considerar o óleo do mamão bruto (OMB) e o biodiesel do mamão (BM).

**Tabela 3** - Caracterização do óleo de mamão

Análises	Unidades	OMB	BM	Norma	Limite
Índice de Acidez	mgKOH/g	2,24 ± 0,01*	0,64 ± 0,01*	Adolf Lutz	0,5 mgKOH/g
Índice de peróxido	meq/Kg <sup>-1</sup>	43,93	29,15	Adolf Lutz	-
Viscosid. cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	18,77 ± 0,14	3,35 ± 0,01	NBR 10441	3,0-6,0 mm <sup>2</sup> /s
Massa específica a 20°C	g/cm <sup>3</sup>	0,88 ± 0,01	0,86 ± 0,01	NBR 14065	860-900 g/cm <sup>3</sup>
Índice de refração	-	1,45 ± 0,01	1,43 ± 0,01	AOCS Cc 7 – 25	1,466-1,477
Estabilidade a oxidação	Hora	44,54	36,24	EN 14112	8 Horas

**Fonte:** Autora (2018)

\* Valor referente ao desvio padrão das medidas obtidas em triplicata.

Diante de análises realizadas por Moretto e Fett (1989) o índice de acidez é uma caracterização físico-química que sofre bastante variação, isso devido a fatores como tecnologias de armazenamento de sementes, formas de obtenção e conservação dos óleos. A forma como o solvente é eliminado da solução, tempo de armazenamento e a temperatura da extração são fatores que de acordo com Torres (2010) também influenciam na acidez do óleo, pois aceleram a formação de ácidos graxos livres no meio reacional.

As extrações via catálise Química geralmente resultam em um biodiesel com a acidez elevada, porém fazendo-se o uso do hexano P.A e com os métodos de preparo da semente mencionada pode-se obter um índice de acidez muito próximo ao adequado de acordo com a ANP que estabelece o limite de 0,5 mgKOH/g, a acidez do óleo bruto do mamão estava bem acima do que é permitido pelas normas no valor de 2,24MgKOH/g, porém após passar pelo tratamento e ser convertido em biodiesel, esse índice caiu para 0,64MgKOH/g, ainda um pouco superior as especificações do biodiesel, no entanto vale ressaltar que pode ser realizado uma nova extração, buscando eliminar ainda mais a quantidade de solvente da amostra para possivelmente obter um biodiesel dentro das normas estabelecidas.

O índice de peróxido não é uma das caracterizações estabelecidas pela ANP, porém é um parâmetro relevante, pois de acordo com Knothe *et al.* (2006) a reação de oxidação de um ácido graxo insaturado inicia-se com o acúmulo de peróxidos. Os resultados de índice de peróxido encontrados na literatura são bem variados, pois depende da amostra em uso. Valle (2015) em suas caracterizações com óleo da

mamona e óleo das vísceras de peixe obteve os valores de  $2,56 \text{ meq/Kg}^{-1} \pm 0,25$  e  $14,02 \text{ meq/Kg}^{-1} \pm 0,08$  respectivamente, Fonseca *et al* (2019) com o óleo da semente do pinhão roxo obteve o valor de  $3,52 \text{ meq/Kg}^{-1}$ .

O resultado obtido para o índice de peróxido com o óleo bruto do mamão foi de  $43,93 \text{ meq/Kg}^{-1}$  que após o óleo estar convertido em biodiesel decresceu para  $29,15 \text{ meq/Kg}^{-1}$ . Um valor considerado elevado diante de estudos realizados por Malacrida e Jorge (2006) onde afirmam que o limite máximo de índice peróxido no óleo e biodiesel não devem ultrapassar de valor  $10 \text{ meqO}_2/\text{g}$ , o que acarreta em um estado de conservação deste biodiesel um tanto não tão satisfatório, porém ainda assim esse resultado não classifica a qualidade do biodiesel em si por não se encontrar presente nas normas da ANP.

De acordo com Fernandes (2011) a massa específica é uma propriedade que não sofre grandes variações por o óleo apresentar uma densidade semelhante a de seus ésteres, porém deve-se ter o controle desse parâmetro, a densidade não deve ser tão alta nem tão baixa, ambas as características podem trazer problemas futuros. Valle (2015) ainda salienta que a massa específica está relacionada ao tamanho da cadeia carbônica de éster, quanto maior a cadeia, maior será a massa específica e Knothe *et al*, (2006) complementa que esse valor decrescerá em virtude do número de insaturações presentes na molécula, pois a interação entre elas será menor.

A massa específica a  $20^\circ\text{C}$  obtida do óleo bruto e óleo do biodiesel foram respectivamente  $0,88 \text{ g/cm}^3$  e  $0,86 \text{ g/cm}^3$ . Diante do mencionado, esse parâmetro está de acordo com as especificações para um biodiesel de qualidade.

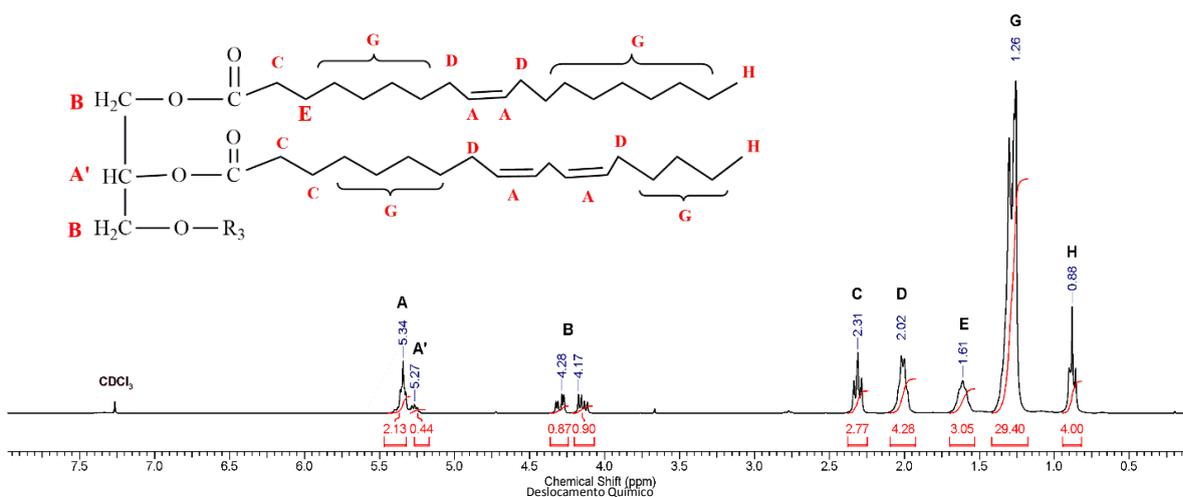
Assim como a massa específica, a viscosidade cinemática está diretamente relacionada com a eficácia da combustão e é responsável por lubrificar o motor, o valor não pode ser tão elevado, nem tão baixo, pois pode ocasionar danos ao motor no caso de estar muito alto e ocasionar problemas nas peças se estiver muito baixo, por não lubrificá-las o suficiente.

Os resultados obtidos para a viscosidade estão dentro da legislação e a drástica redução de  $18,77 \text{ mm}^2/\text{s}$  obtida no óleo do mamão bruto para  $3,35 \text{ mm}^2/\text{s}$  do biodiesel do mamão, deve-se ao sucesso na reação de transesterificação. Segundo Suarez *et al*. (2007), a alcoólise do triglicerídeo a metil ésteres reduz sua massa molecular em média para 1/3 do valor inicial, como também reduz sua viscosidade e volatilidade. De acordo com o mencionado a conversão de triglicerídeos em ésteres

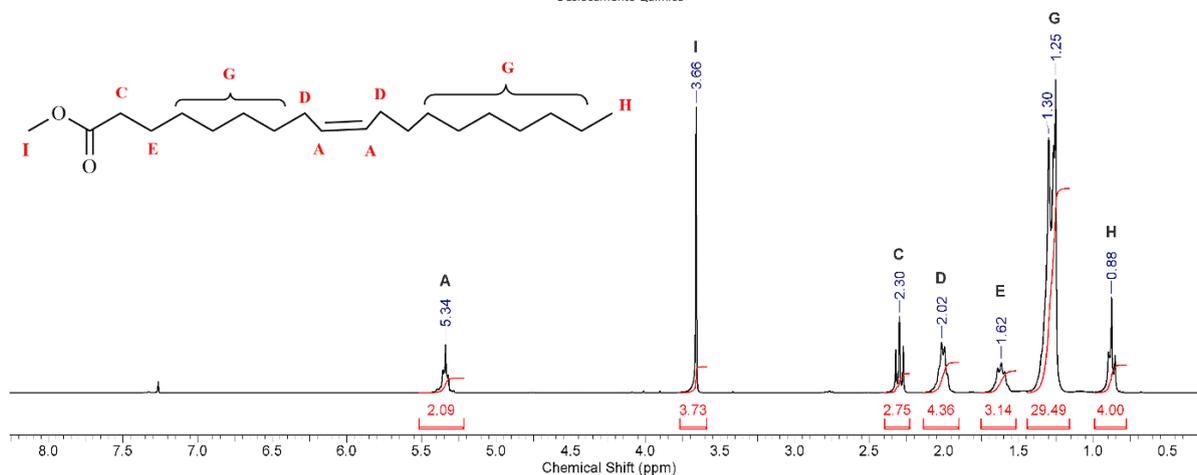
diminuiu a viscosidade, tornando o biodiesel com uma propriedade bem comum ao diesel convencional.

A seguir pode-se observar as Figuras 12, 13, 14 e 15 contendo as estruturas de Espectros de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$  do óleo utilizado nesse trabalho e seus derivados e as análise dos dados.

**Figura 11** - Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  do óleo do mamão em  $\text{CDCl}_3$



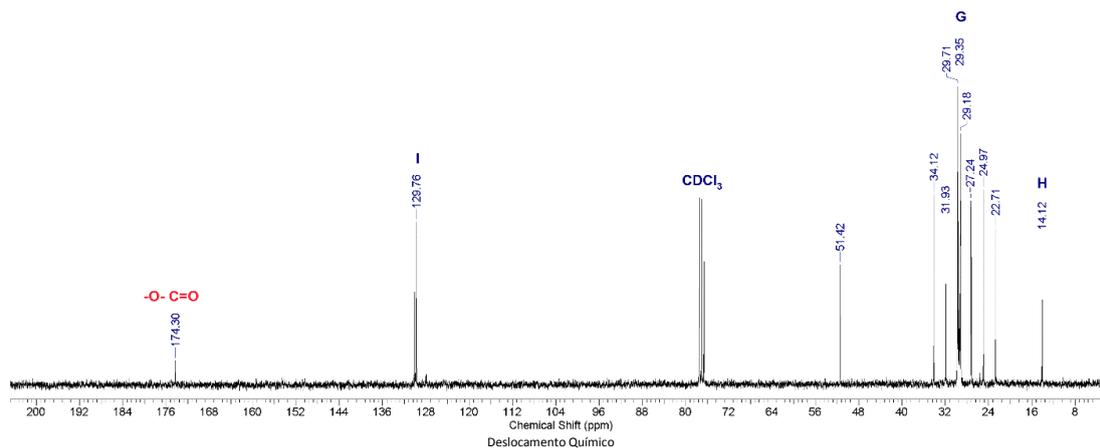
**Figura 12** - Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  do Biodiesel do óleo do mamão em  $\text{CDCl}_3$



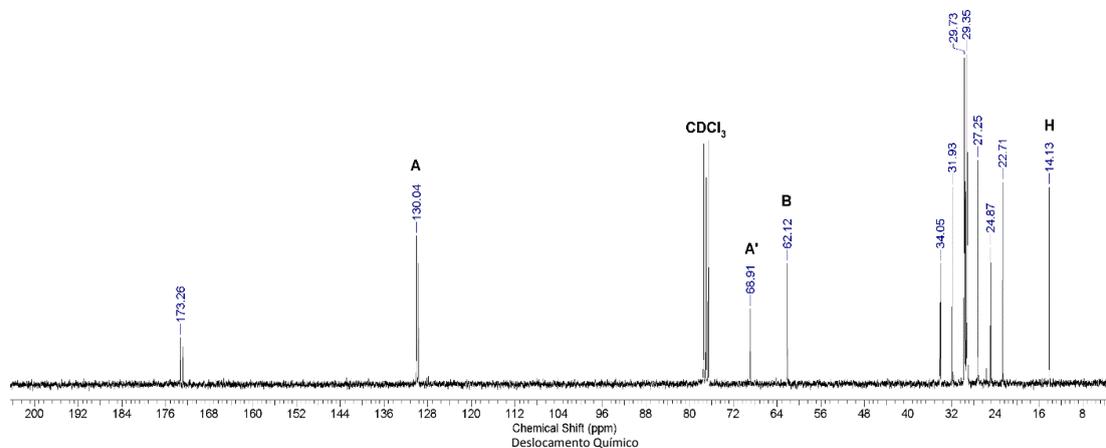
Nos espectros de RMN de  $^1\text{H}$  dos Ésteres Metílicos do óleo do mamão (Figura 12). Observa-se a existência de uma supressão em aproximadamente 4 e 4,3, ppm (Pico I), referente ao grupo metil. O multipletto com deslocamento 3,9 – 4,1, ppm (Pico B) é referente a metoxila da função éster ( $-\text{OCH}_3$ ), representa o sucesso na reação de transesterificação na conversão dos triglicerídios dos óleos em ésteres metílicos. A

conversão, calculada a partir da Equação, que relaciona as integrais dos ésteres metílicos e metilenos adjacentes a carbonila, revelou 90,42% de conversão em biodiesel para o óleo de mamão.

**Figura 13** - Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  do óleo do mamão em  $\text{CDCl}_3$



**Figura 14** - Espectro de RMN de  $^{13}\text{C}$  do Biodiesel do óleo do mamão em  $\text{CDCl}_3$

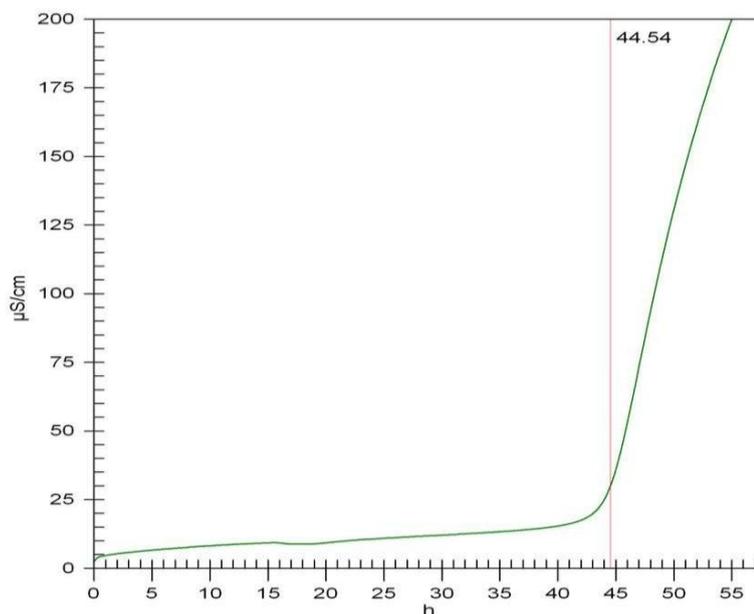


Os sinais apresentados nos espectros de RMN de  $^{13}\text{C}$  da figura 14 são característicos de ésteres derivados de ácidos graxos. O pico em aproximadamente  $\delta = 14,0$  ppm (Pico H) é característico de ácidos graxos terminais das cadeias de ácidos graxos, em  $\delta = 22- 34$  ppm (Pico G) são referentes aos carbonos de grupos  $\text{CH}_2$  internos. Os picos em  $\delta = 62,12$  ppm (Pico B) e em  $\delta = 173,26$  ppm são referentes a metila terminal do grupo éster .

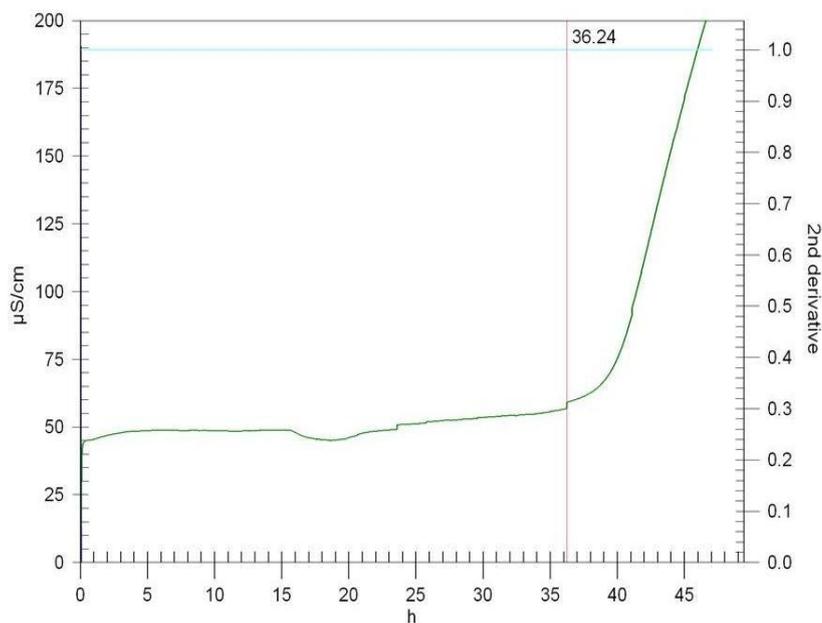
As Figuras 16 e 17 a seguir apresentam os resultados acerca dos testes para estabilidade oxidativa do óleo e do biodiesel de mamão utilizando a metodologia Rancimat.

No aparelho Rancimat, o fluxo de ar passa pelas amostras (3 gramas) aquecidas a uma temperatura de 110°C, arrastando voláteis gerados que são borbulhados em água deionizada, aumentando a condutividade elétrica desta. Os compostos voláteis produzidos na oxidação dependem do tipo de amostra analisada (VELASCO *et al.*, 2004).

**Figura 15** - Resultado da estabilidade oxidativa do óleo do mamão pelo Rancimat



**Figura 16** - Resultado da estabilidade oxidativa do Biodiesel do mamão pelo Rancimat



Analisando as Figuras 16 e 17, nota-se uma diminuição no tempo de indução de uma amostra para outra, pois a presença de insaturações nas cadeias de ácidos graxos do biodiesel aumentam a atividade oxidativa e sendo assim reduz o tempo de indução.

Segundo Makareviciene *et al.*(2005), o fluxo de ar transporta produtos voláteis da oxidação do vazo de reação para o vazo de medida contendo água destilada. A condutividade desta água é medida continuamente até um súbito aumento de condutividade da solução absorvedora dos produtos de degradação. O tempo decorrido até este súbito aumento da condutividade é chamado de tempo de indução.

A estabilidade oxidativa permite observar por quanto tempo os óleos podem ficar armazenados em determinadas condições, nota-se que o biodiesel do mamão apresenta um valor de 36 horas, mostrando assim ser bem resistente ao processo oxidativo, no qual determina que o valor mínimo permitido é de 6 horas.

## 6 CONCLUSÕES

O reaproveitamento de resíduos sólidos como a semente do mamão, pode trazer benefícios econômicos e ambientais. O óleo da semente do mamão se mostra como uma fonte promissora na síntese de biodiesel, apresentando um rendimento de óleo bastante favorável (13,03%) quando comparado a outras fontes de matéria prima utilizadas no mercado de biocombustíveis e um percentual de 90,42% de conversão em biodiesel.

O processo de transesterificação alcalina homogênea é um dos mais utilizados devido a relação custo-benefício e a metodologia desenvolvida para a obtenção do mesmo mostrou-se eficiente, apresentando bons resultados de rendimento e caracterizações físico químicas.

Caracterizações como massa específica a 20°C, viscosidade cinemática a 40°C e estabilidade oxidativa, com os valores para biodiesel de mamão respectivamente 0,86g/cm<sup>3</sup>, 3,35mm<sup>2</sup>/s e 36,24 horas, encontraram-se em consonância com a ANP, favorecendo assim a eficácia da combustão e possuindo resistência ao processo oxidativo.

Para o índice de acidez onde o resultado foi 0,64mgKOH/g, sugere-se para trabalhos futuros uma extração onde busque eliminar ainda mais o solvente para que esse resultado seja mais conveniente diante do limite estabelecido pela ANP. No que se refere ao índice de peróxido, comparando com a literatura, este apresentou um valor um pouco elevado 29,15 meq/Kg<sup>-1</sup>, porém essa caracterização não qualifica o biodiesel em si.

Todos os valores obtidos com o óleo bruto, decresceram após o refino do óleo, apesar de comprometer o rendimento final, torna-se necessário para um biodiesel de maior qualidade.

Por fim, os objetivos da presente pesquisa foram alcançados, obtendo resultados promissores o que potencializa o uso dessa matéria prima e abre caminhos para futuras pesquisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOBO, A. P. Proximate composition and selected functional properties of defatted papaya (*Carica papaya* L.) kernel flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 58, n. 3, p. 1-7, 2003.

ALVES, C. T; TORRES, E. A; CAMELIER, L. A. Produção de Biodiesel a Partir de OGR em Planta Piloto. **Salvador**: sn, 2008.

ANUAR, N. S. *et al.* Effect of green and ripe *Carica papaya* epicarp extracts on wound healing and during pregnancy. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 7, p. 2384-2389, 2008.

Batistella EC (2018) Aprobio projeta produção recorde de biodiesel no ano. *Jornal do Comércio ... Economia... Combustíveis...* notícia do dia 05/ 01/ 2018. Disponível em : [https://www.jornaldocomercio.com/\\_conteudo/2018/01/economia/605012-aprobioprojeta-producao-recorde-de-biodiesel-no-ano.ht](https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2018/01/economia/605012-aprobioprojeta-producao-recorde-de-biodiesel-no-ano.ht). Acesso em: 16 set. 2018.

BELTRÃO, NE de M.; DE OLIVEIRA, M. I. P. Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodiesel. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2008.

BORNSCHEUER, U. T; KAZLAUSKAS, R. J. **Hydrolases in organic synthesis: regio-and stereoselective biotransformations**. John Wiley & Sons, 2006.

CASTELLANELLI, C. A. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E OLEAGINOSAS ALTERNATIVAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS. 2016.

CETINKAYA, M; KARAOSMANOĞLU, F. Optimization of base-catalyzed transesterification reaction of used cooking oil. **Energy & fuels**, v. 18, n. 6, p. 1888-1895, 2004.

CHIELE, D.P. **Estudo da Secagem de Sementes de Mamão Papaya (*Carica papaya* L.) em Secador Convectivo Horizontal e Leito de Jorro e a Influência na Extração de óleo**. Orientador: Eduardo H Tanabe. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7984/CHIELLE%2C%20DANIEL%20ADOIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 26 Ago. 2019.

CIVIL, Casa. LEI No 11.097, DE 13 DE JANEIRO DE 2005. **Presidência da República Assuntos Jurídicos**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2005.v.11097](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2005.v.11097), 2005.

Conselho Nacional De Política Energética – CNPE (2017) **Resolução n° 14**, de 8 de junho De 2017.

CUNHA, Michele Espinosa da. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. 2008. Orientadora: Elina Bastos Caramão. 2008. Dissertação (mestrado em Química) – Universidade Federal do

Rio Grande do Sul, Porto Alegre, SC, 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15644> . Acesso em 15 set. 2019.

DAMODARAN, S; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2018.

DAUBDOUB, M.J.; BRONZEL, J.L. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, vol. 32, n. 3, p. 776 - 792, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a21v32n3.pdf>. Acesso em 14 jul. 2019.

DA SILVA, M. V. USO DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA E ESPECTROMETRIA DE LENTE TÉRMICA NO ESTUDO DE BLENDS ÓLEO-BIODIESEL E BIODIESEL-DIESEL. 2012.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy conversion and management**, v. 50, n. 1, p. 14-34, 2009.

DIAS, F.P. **APROVEITAMENTO DE VÍSCERAS DE TILÁPIA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL**. Orientadora: Marisete Dantas de Aquino. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16699/1/2009\\_dis\\_fpdias.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16699/1/2009_dis_fpdias.pdf). Acesso em 26 ago. 2019.

DIÓGENES, A. M. G., *et al.* Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

FAO/FAOSTAT, 2015 (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura). Disponível em: <http://www.faostat.org.br/>. Acesso em 03 ago. 2019.

FERNANDES, D. M. **Obtenção e caracterização físico-química dos biodieseis metílico e etílico de algodão (*Gossypium hirsutum*)**. Orientador: Manuel Gonzalo Hernandez Terrones. 2011. Dissertação (Mestrado em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17343/1/d.pdf>. Acesso em 26 ago. 2019.

FONSECA, A. M. *et al.* A new raw material in the production of biodiesel: purple pinion seeds. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 23, p. 25, 2019.

GHAZALI, Wan Nor Maawa Wan et al. Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 585-602, 2015.

HIDROVEG. **Estimativa sobre o potencial de insumos residuais no país**. Comunicação pessoal, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, I. A. L. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 2008.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. (2017) **Produção agrícola Municipal**.

Key world energy statistic. **International Energy Agency**, 2008.

KNOTHE, Gerhard *et al.* **Manual de biodiesel**. 2006.

KOBORI, C. N; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e agrotecnologia**, p. 1008-1014, 2005.

KULKARNI, M. G.; DALAI, A. K. Waste cooking oil an economical source for biodiesel: a review. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 45, n. 9, p. 2901-2913, 2006.

KUMAR, B. R; SARAVANAN, S. Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 84-115, 2016.

LEBEDEVAS, S., *et al.* Use of waste fats of animal and vegetable origin for the production of biodiesel fuel: quality, motor properties, and emissions of harmful components. **Energy & fuels**, v. 20, n. 5, p. 2274-2280, 2006.

LIN, Y; WU; Y. G; CHANG, C. Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends. **Fuel**, v. 86, n. 12-13, p. 1772-1780, 2007.

LITZ, R. E. Papaya. In: SHARP, W. R.; EVANS, D. A.; AMMIRATO, P. V.; YAMADA, Y. (Eds.). **Handbook of plant cell culture**. New York: MacMillan, 1984. p. 349-368.

LOPES, L. **Gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos**. Orientador: Wagner Costa Ribeiro. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-01102008-162337/pt-br.php>. Acesso em 26 ago. 2019.

MAÇAIRA, J., *et al.* Biodiesel production using supercritical methanol/carbon dioxide mixtures in a continuous reactor. **Fuel**, v. 90, n. 6, p. 2280-2288, 2011.

MALACRIDA, Cassia Roberta; JORGE, Neuza. Influência da relação superfície/volume e do tempo de fritura sobre as alterações da mistura azeite de dendê-óleo de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, p. 724-730, 2006.

MATHESON, B. *et al.* Effect on serum lipids of monounsaturated oil and margarine in the diet of an Antarctic Expedition. **The American journal of clinical nutrition**, v. 63, n. 6, p. 933-938, 1996.

MEDINA, J. C. Cultura. In: MEDINA, J. C.; BLEINROTH, E. W.; SIGRIST, J. M. M.; MARTIN, Z. J.; NISIDA, A. L. A. C.; BALDINI, V. L. S.; LEITE, R. S. S. F.;

GARCIA, A. E. B. **Mamão**. 2. ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1989. p. 1-177.

MELO, M. L. S. **Caracterização, estabilidade oxidativa e determinação do potencia energético do biodiesel derivado do mamão (carica papaya L.): uma fonte não convencional**. Orientador: Petrônio F. de Athayde Filho. 2010. Tese (Doutorado em Química Orgânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2010. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp147629.pdf>. Acesso em 26 ago. 2019.

MORAIS, M. M. *et al.* Estudo do processo de refino do óleo de pescado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 60, n. 1, p. 23-33, 2001.

MORETTO, E; FETT, R. **Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises**. 1989.

MOURA MC de O, *et al.* Relato de experiência sobre o curso “O biocombustível da biodiversidade” ligado ao projeto “Os novos talentos do Ensino Médio de Boa Vista-RR”. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, 2016.

OLIVEIRA, A. D. *et al.* Biodiesel do óleo de pinhão manso degomado por esterificação. In: **Embrapa Algodão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão social e energia: anais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010., 2010.

PINTO, A. C. *et al.* Biodiesel: an overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005.

PUANGSRI, T.; ABDULKARIM, S. M.; GHAZALI, H. M. Properties of Carica papaya L.(papaya) seed oil following extractions using solvent and aqueous enzymatic methods. **Journal of Food Lipids**, v. 12, n. 1, p. 62-76, 2005.

QUEIROZ, R.F. **Desenvolvimento de mamão formosa ‘tainung 01’ cultivado em Russas-Ceará**. Orientadora: Edna Maria Mendes Aroucha. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró, 2009. Disponível em: [http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/82/Dissertacoes%202009/Dissertacao\\_Ronialison.pdf](http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/82/Dissertacoes%202009/Dissertacao_Ronialison.pdf). Acesso em 26 ago. 2018.

REIS, M. C. *et al.* Produção de biodiesel a partir de ácidos graxos provenientes do refino de óleos vegetais via catálise ácida heterogênea e micro-ondas. **Quim. Nova**, v. 38, p. 1307-1312, 2015.

RIBEIRO, N. M. **O processo de transesterificação**. Projeto Biodiesel. Universidade Federal da Bahia. Segunda Reunião da Rede Cooperativa de Biodiesel do Nordeste, 2006.

RODRIGUES, J.S. **Produção de Biolubrificantes a partir dos Óleos de Mamona (*Ricinus communis*) e de Vísceras da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Orientadora: Nágila Maria Pontes Silva Ricardo. 2013. Dissertação (Mestrado em

Química) - Departamento de Química. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22595/1/2013\\_dis\\_jsrodrigues.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22595/1/2013_dis_jsrodrigues.pdf). Acesso em 26 ago. 2019.

SALES, J. C., *et al.* O BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DA MAMONA E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO CEARÁ: ASPECTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS.

SENDZIKIENE, E.; MAKAREVICIENE, V.; JANULIS, P. Oxidation Stability of Biodiesel Fuel Produced from Fatty Wastes. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 14, n. 3, 2005.

SILVA, I. B. **Potencialidades energéticas provenientes dos resíduos da mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*)**. Orientadora: Marta Célia Dantas Silva. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-pb, 2019. Disponível em: [https://sig-arq.ufpb.br/arquivos/2019028041e763160313597b146f5b338/Dissertao\\_IZANILDE\\_BARBOSA\\_DA\\_SILVA.pdf](https://sig-arq.ufpb.br/arquivos/2019028041e763160313597b146f5b338/Dissertao_IZANILDE_BARBOSA_DA_SILVA.pdf). Acesso em 12 set. 2019.

SILVA, W. C. *et al.* Thermal degradation of ethanolic biodiesel: Physicochemical and thermal properties evaluation. **Energy**, v. 114, p. 1093-1099, 2016.

SUAREZ, P. A. *et al.* Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química nova**, v. 30, n. 3, p. 667-676, 2007.

TARGINO, K. C. F. **VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL USANDO ÓLEO DA *Jatropha mollissima* (PINHÃO BRAVO) VIA CATÁLISE HOMOGÊNEA E HETEROGÊNEA**. Orientador: Luiz Gonzaga de Oliveira Matias. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró-RN, 2016. Disponível em: [http://www.uern.br/controladepaginas/mestrado-dissertacoes/defendidas/arquivos/2212dissertacao\\_kelyson.pdf](http://www.uern.br/controladepaginas/mestrado-dissertacoes/defendidas/arquivos/2212dissertacao_kelyson.pdf). Acesso em 16 set. 2019.

TRABALHOS, Melhores. **BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA OPÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. **Revista GEDECON-Gestão e Desenvolvimento em Contexto**, v. 2, n. 2, p. 32-50, 2015.

TORRES, M.G. **Caracterização e estudo do comportamento térmico do óleo extraído da semente de mamão formosa (*Carica papaya L.*)** Orientador: Clóvis Augusto Ribeiro. 2010. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2010. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97820/torres\\_mg\\_me\\_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97820/torres_mg_me_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em 26 ago. 2019.

TORRES, M. *et al.* Evaluation of several catalytic systems for the epoxidation of methyl oleate using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as oxidant. **Catalysis today**, v. 195, n. 1, p. 76-82, 2012.

VALLE, C. P. do. **Síntese e Caracterização de Éstres Lubrificantes a Partir da Modificação do Óleo da Mamona (*Ricinus communis*) e Óleo das Visceras da Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. Orientadora: Nágila Maria Pontes Silva Ricardo. 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ce, 2015. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/25142/1/2015\\_cpvalle\\_dis.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/25142/1/2015_cpvalle_dis.pdf). Acesso em 26 ago. 2019.

VAN NIEKERK, Pieter J.; BURGER, Anna EC. The estimation of the composition of edible oil mixtures. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 62, n. 3, p. 531-538, 1985.

VELASCO, J. N., ANDERSEN, M. L. *et al.* Evaluation of oxidative stability of vegetable oils by monitoring the tendency to radical formation. A comparison of electron spin resonance spectroscopy with the Rancimat method and differential scanning calorimetry. **Food Chemistry**, v.85, n°4, p. 623-632. maio. 2004.

VIOMAR, A. *et al.* **Estudo das variáveis da produção de biodiesel**. 2013. Orientador: Paulo Rogério Pinto Rodrigues. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) – Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava-Pr. 2013. Disponível em : [https://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/dissertacoes/disserta\\_oAline\\_final\\_517ff921e5bd5.pdf](https://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/dissertacoes/disserta_oAline_final_517ff921e5bd5.pdf). Acesso em 15 set. 2019.

WINAYANUWATTIKUN, P. *et al.* Potential plant oil feedstock for lipase-catalyzed biodiesel production in Thailand. **Biomass and bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1279-1286, 2008.