

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA DA BIOMASSA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: BIODIESEL

CLEONICE MARIA BASTOS PEREIRA

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DA AMÊNDOA DO
FRUTO DA AMENDOEIRA (*Terminalia catappa linn*) VISANDO SEU
USO NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL.**

RIO LARGO

2016

CLEONICE MARIA BASTOS PEREIRA

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DA AMÊNDOA DO FRUTO DA
AMENDOEIRA (*Terminalia catappa linn*) VISANDO SEU USO NA PRODUÇÃO DO
BIODIESEL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação Em Energia da Biomassa da
Universidade Federal de Alagoas para obtenção
de título em Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof. Dr. João Inácio Soletti

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a. Sandra Helena Vieira de Carvalho

Área de concentração: Biodiesel

Rio Largo

2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

P429e Pereira, Cleonice Maria Bastos.
 Extração e caracterização do óleo da amêndoa do fruto da Amendoeira
 (*Terminalia catappa linn*) visando seu uso na produção do biodiesel / Cleonice
 Maria Bastos Pereira. ó 2016.
 92 f. : il.

 Orientador: João Inácio Soletti.
 Coorientadora: Sandra Helena Vieira de Carvalho.
 Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) ó Universidade
 Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa. Centro
 de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2016.

 Bibliografia: f. 84-93.

 1. Óleo de amêndoas - Produção. 2. Extração de óleo. 3. Terminalia
 catappa Linn. 4. Biodiesel. 5. Biomassa. I. Título.

CDU: 662.756.3

TERMO DE APROVAÇÃO

CLEONICE MARIA BASTOS PEREIRA

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DA AMENDOIA DO FRUTO DA AMENDOEIRA (*TERMINALIA CATAPPA LINN*) PARA AVALIAR SEU POTENCIAL NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

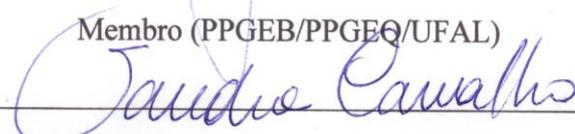
A citação de qualquer texto desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Aprovado em 07/10/2016



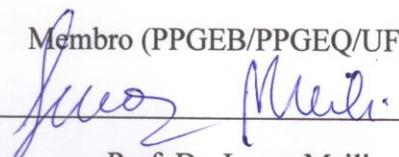
Prof. Dr. João Inácio Soletti

Membro (PPGEB/PPGEQ/UFAL)



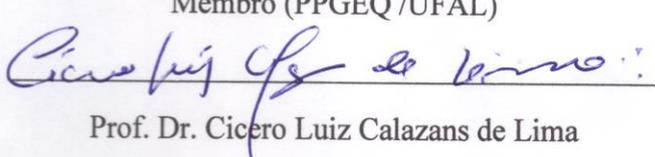
Prof.ª Dr.ª Sandra Helena Vieira de Carvalho

Membro (PPGEB/PPGEQ/UFAL)



Prof. Dr. Lucas Meili

Membro (PPGEQ /UFAL)



Prof. Dr. Cicero Luiz Calazans de Lima

Membro (CECA-UFAL)

RIO LARGO – AL

2016/2

Aos meus amados filhos Leonardo Bastos e Isabela Bastos, que me motivam com muito amor, em tudo o que eu faço na minha vida pessoal e profissional, contribuindo para que eu me torne, a cada dia vivido, um ser humano melhor.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Anízio e Maria, que de forma tão verdadeira e orgulhosa, debitam em mim a certeza da minha capacidade. A vocês todo meu amor.

Os meus lindos e abençoados filhos Leonardo e Isabela, por toda motivação que recebo de vocês desde que entraram na minha vida.

A minha amada e feliz família “Buscapé”, em especial a Cícero Bastos, pais dos meus filhos. Vocês me deram força quando eu mais precisei e comemoram sempre, comigo, cada etapa concluída. Minhas conquistas é o somatório do apoio e da credibilidade de cada um de vocês. Sou imensamente grata a todos vocês.

Ao Centro de Ciências Agrárias – CECA – UFAL, por concentrar uma equipe de docentes competentes e comprometido com a formação dos seus alunos. Contribuindo assim, no meu encanto por esse renomado Centro educacional.

Ao programa de Pós-graduação em Energia da Biomassa, na pessoa do professor Ricardo Araújo Ferreira Junior, por difundir o conhecimento sobre uma área tão importante e necessária para o desenvolvimento de uma sociedade.

Ao coordenador do mestrado Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, por sempre se mostrar prestativo e hábil, na execução das suas atribuições.

Ao Prof. Dr. Cicero Luiz Calazans por aceitar ser membro da banca examinadora e por ter me mostrado, de forma indireta, que o termo “DOUTOR” não torna alguém detentor do “SABER”, mas, apenas um exímio pesquisador.

Aos demais professores da banca de defesa, pela colaboração ao avaliar este trabalho.

A todos os professores do mestrado em Energia da Biomassa, por compartilhar suas experiências e saberes; por se demonstrarem disponíveis para tirar dúvidas e contribuir significativamente na minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Inácio Soletti, por ter acreditado na minha capacidade, quando me propôs o desafio por um tema com faces multidisciplinar. E por ter me dado todas as condições necessárias para realizar as etapas e análises necessárias ao trabalho.

A minha Co-orientadora, Prof.^a Dr.^a. Sandra Helena Vieira de Carvalho, por me abrir às portas do laboratório LASSOP, oferecendo toda infraestrutura necessária para realização deste trabalho e por aceitar prontamente o convite para ser minha Co-orientadora.

A toda equipe do LASSOP, em especial aos meus eficientes e queridos colaboradores Edilton e Neto, os quais foram essenciais na etapa das análises deste trabalho. Serei eternamente grata.

A todos (as) companheiros (as) amigos (as) da turma, que tive o mérito em conhecer e conviver com essas pessoas tão fabulosas, com conhecimentos tão diversificados, onde cada um contribuiu significativamente no meu desempenho. Nossa ligação afetiva será duradoura.

As amigas de longas datas, Ana Paula e Madalena, que me convidaram a cursar esse mestrado, junto a elas.

Ao Marcos, que de forma gentil, se prontificou a me ajudar na etapa da coleta dos frutos da amendoeira. A você minha eterna gratidão.

Por fim, agradeço a Deus por abençoar minhas escolhas e ensinar-me com todas as dificuldades que eu enfrento.

RESUMO

Um dos grandes desafios do século XXI é desenvolver matrizes energéticas “limpas” a partir de fontes renováveis de baixo custo, e que preserve o meio ambiente. Uma das energias que pode atender a essa necessidade é a proveniente da biomassa, a exemplo dos óleos vegetais na produção do biodiesel. Com isso, tem-se estudado processos de extração e uso de óleos vegetais para produção desse biocombustível. Nesses processos, insumos para atender essa produção, devem levar em consideração matérias primas de menor importância na alimentação que não demandem grandes áreas de terra agricultáveis, de baixo custo e de grande abrangência. A amendoeira (*Terminalia catappa* L.) - TC apresenta-se como uma fonte viável na produção do biodiesel. Neste trabalho avaliamos os processos de extração mecânica e por solvente, e a caracterização do óleo da amêndoa do fruto da TC, visando seu uso na produção do biodiesel, a partir de frutos secos. Foram feitas e avaliadas extrações por prensagem e por solvente, utilizando os solventes: hexano, álcool etílico e álcool metílico. O teor de óleo extraído por solvente, na semente *in natura*, foi de 56% da massa. O óleo resultante da extração mecânica foi caracterizado, nos seguintes parâmetros: umidade, massa específica, índice de acidez, viscosidade, índice de saponificação, pH, e composição de ácidos graxos. Além desses, foi feita, a análise da viabilidade econômica do cultivo dessa espécie em larga escala, visando o rendimento de óleo para fins energéticos, em comparação com outras oleaginosas brasileiras. Quanto à eficiência da extração do óleo, a prensagem hidráulica, foi bastante satisfatória apresentando um rendimento muito próximo ao apresentado pelo método por solvente. A extração com uma pressão de 412 kgf/cm² é suficiente para ruptura da célula, chegando assim, ao limite máximo do rendimento em óleo. Na extração por solvente, o hexano apresentou melhores resultados em comparação ao etanol e o metanol, tendo este último, um rendimento inferior aos dois solventes. E sobre as características físico-químicas do óleo, algumas das propriedades analisadas, divergem das leis para produção de biodiesel especificada na ANP/2012. Porém, os resultados se enquadram nos padrões mínimos de qualidade exigidos pela ANVISA/1999. A composição dos ácidos graxos majoritários no óleo da TC apresentou cerca de 60% de ácidos graxos insaturados, sendo que deste, a predominância foi de ácido oleico com 32,5% e linoleico com 26,4%. Análise da viabilidade econômica do cultivo, em larga escala, da TC, no rendimento de óleo para fins energéticos, demonstrou que a perspectiva de rendimento por produção de óleo foi aproximadamente de 0,6 t. (t de óleo/ha ano).

Palavras chave: Biomassa. Extração de óleo. Biodiesel. *Terminalia catappa* linn,

ABSTRACT

One of the great challenges of the 21st century is the development of "clean" energy matrixes from low-cost, renewable energy sources that preserves the environment. One of the energies that can meet this need is a provenance of biomass, an example of Vegetable oils in biodiesel production. Therefore, it has studied the processes of extraction and use of vegetal oils for the production of biofuel. In these processes, inputs to meet this production, should take into account, raw materials of minor importance in food, which do not demand large areas of arable land, low cost and wide range. The almond tree (*Terminalia catappa l.*) - TC presents itself as a viable source in the production of biodiesel. This work evaluates the processes of mechanical extraction and solvent, and a characterization of the almond oil of the TC fruit, aiming its use in the production of biodiesel, From dry fruit. Extractions were made and evaluated by pressing and by solvent, using the solvents: hexane, ethyl alcohol and methyl alcohol. The content of solvent extracted oil in the natural seed was 56% of the mass. The oil resulting from the mechanical extraction was characterized, moisture, specific mass, acidity index, viscosity, saponification index, pH and composition of fatty acids. In addition, the economical viability of the cultivation of this species on a large scale was analyzed, aiming at the yield of oil for energy purposes, in comparison to other Brazilian oleaginous plants. Regarding the efficiency of the oil extraction, a hydraulic pressing, a good satisfaction and a very close yield by the solvent method. The extraction at a pressure of 412 kgf / cm² is sufficient for the rupture of the cell, thus reaching the maximum yield limit in oil. In the solvent extraction, hexane presented better results in ethanol and methanol, the latter having a lower yield than the two solvents. And on the physicochemical characteristics of the oil, some of the properties analyzed, divergence of the laws for the production of biodiesel specified in the ANP / 2012. However, the results found in the minimum quality standards required by ANVISA / 1999. The composition of the main graffiti does not Was produced with TC presented about 60% of the unsaturated fatty acids, being a predominance of oleic acid with 32.5% and linoleic acid with 26.4%. Analysis of the economic viability of large-scale CT cultivation without oil yield for energy purposes showed that a production perspective for oil production was about 0.6 t. (T oil / ha year).

Keywords: Biomass, oil extraction, biodiesel, *Terminalia catappa linn*,

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Diagrama dos processos de convenção energética da biomassa.....	23
Figura 2 – Hidrólise de um triglicerídeo.	25
Figura 3 – Reação de transesterificação de triglicerídeos.	40
Figura 4 – Principais matérias – primas utilizadas para produção de biodiesel.	41
Figura 05 – Amendoeira (<i>Terminalia catappa</i> linn).	44
Figura 06 – Partes do fruto maduro e seco, da <i>Terminalia catappa</i> . 1. Amêndoa; 2. Endocarpo (parte lenhosa); 3. Mesocarpo (parte fibrosa); 4.Epicarpo.....	45
Figura 07– folhas e frutos (verde e maduro) da <i>Terminalia catappa</i> linn.....	46
Figura 08 - fruto seco e amêndoa da <i>Terminalia catappa</i> l.....	47
Figura09 – Amêndoa seca, do fruto da <i>Terminalia catappa</i> l.....	48
Figura 10 – Fatores esse que influenciam para o maior crescimento da planta,	50
Figura 11 – cálculo de espaçamento para plantio da amendoeira.	51
Figura12- A1 Ferramenta de corte para retirada da amêndoa, A2 amêndoa retirada do fruto	54
Figura: 13 – Densímetro DMA 35N Petrol.	56
Figura 14 – Circulado de aquecimento SCHOTT (modelo CT52).	57
Figura 15 - Balão volumétrico de 300 ml, em “banho maria”.	59
Figura: 16 – Prensa hidráulica Tecnal.	62
Figura 17 – Torta resultante da prensa mecânica.	63
Figura 18 – Extrator B-811.....	63

Figura 19 – volume de óleo extraído em função do tempo e da força.	73
Figura 20 – Rendimento do óleo na extração por solvente, das tortas da amêndoa, resultante da extração mecânica.	75
Figura 21- Área de ocupação de uma planta em campo.	79
Figura 22- Rendimento médio das principais oleaginosas brasileira t (óleo)/ano, em comparação com a espécie da amendoeira (<i>Terminalia catappa</i> L.).....	80

LISTA DE TABELAS

Tabelas 1- principais combustíveis e suas matérias primas.	22
Tabela 2 – Estruturas químicas dos ácidos graxos mais comuns.	26
Tabela 3 – Características por produção de óleo por unidade agrícola (t de óleo/há ano), das culturas oleaginosas no Brasil.	29
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens da extração de óleo com os solventes hexano e etanol.	38
Tabela 5 – Comparação de algumas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel.	42
Tabela 6 – Resultados dos parâmetros analíticos realizados com o óleo da amendoeira (<i>Terminalia catappa L.</i>).....	65
Tabela 7- Resultados da composição de ácidos graxos do óleo da amendoeira (<i>Terminalia catappa L.</i>). Comparado com os resultados encontrados por Souza, et al,2015	69
Tabela 8 – Rendimento da extração mecânica do óleo da amêndoa da <i>Terminalia catappa linn.</i>	71
Tabela 9 – Media dos resultados da extração das amostras das tortas da amendoa, resultante da extração mecanica.....	74
Tabela 10 – Rendimento da extração por solvente da amostra in natura da amêndoa com um tempo de 12 hora.....	76
Tabela 11 – Estimativa da produtividade de óleo/planta/hectare da amendoeira (<i>Terminalia catappa l.</i>) em comparação com os resultados encontrados nas principais oleaginosas brasileiras.....	77
Tabela 12 – Cálculo da produção estimada de óleo por unidade agrícola (kg de óleo/há ano) e (t de óleo/há ano) da amendoeira (<i>Terminalia catappa l.</i>).	80

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e combustível.
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CO	Monóxido de Carbono.
C ₂ H ₆ O	Etanol.
CECA	Centro de Ciências Agrárias.
CH ₃ CH ₂ OH	Etanol.
CH ₃ OH	Álcool metílico.
cm ²	Centímetro quadrado.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
g	Gramas.
H ₂ O	Água.
ha	Hectare.
kg	Quilograma.
kgf	Quilograma –força.
Kwh	Quilowatt-hora.
L	Litro.
LASSOP	Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos.
KOH	Hidróxido de potássio.

mL	Mililitro.
mm	Milímetro.
Mt CO ₂ -eq	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente.
CH ₃ OH	Metanol.
NaOH	Hidróxido de sódio
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
OIE	Com relação à oferta interna de energia,
ONU	Organizações das Nações Unidas.
OVEG	Programa de Óleos Vegetais.
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNPB	Programa Nacional de produção e Uso de Biodiesel
PRO-OLEO	Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
PROSENE	Programa querosene vegetal de aviação
SO ₂	Dióxido de enxofre.
T DE ÓLEO/HÁ ANO	Tonelada de óleo por hectares ao ano.
TEP	Tonelada equivalente de petróleo.
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFCE	Universidade Federal do Ceará.
°C	Grau Celsius.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	DETERMINAÇÃO DE OBJETIVOS.....	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos específicos	20
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1	Biomassa.....	21
3.2	Os óleos e gorduras.....	24
3.3	Evolução histórica dos Combustíveis Derivados de Óleos Vegetais.	30
3.4	Processos de Extrações de Óleo e Gorduras	32
3.4.1	Extração por Prensagem.....	33
3.4.1.1	Prensas Hidráulicas	34
3.4.2	Extração por Solvente	35
3.4.2.1	Solventes	36
3.5	O Biodiesel.....	39
3.5.1	Vantagens do biodiesel.....	42
3.6	CARACTERIZAÇÕES DA AMENDOEIRA (<i>Terminalia catappa</i> Inn)	43
3.6.1	A arvore.....	43
3.6.2	O fruto	45
3.6.3	A semente (amêndoa).....	46

3.6.4	Analise da Viabilidade econômica no cultivo em larga escala da amendoeira (<i>Terminalia catappa linn</i>), no rendimento de óleo, para fins energéticos.....	50
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	53
4.1	Local de pesquisa.....	53
4.2	A Matéria prima da pesquisa	53
4.3	Caracterização do óleo da amêndoa da <i>Terminalia catappa lin</i>.....	54
4.3.1	Teor de umidade	55
4.3.2	Massa específica.....	55
4.3.3	Viscosidade cinemática	56
4.3.4	Índice de Acidez.....	57
4.3.5	Índice de saponificação	58
4.3.6	O pH.....	59
4.3.7.	Determinação do teor de lipídios na amêndoa da <i>Terminalia catappa l</i>	59
4.3.8	Determinações da composição dos Ácidos graxos no óleo da amêndoa da <i>Terminalia catappa linn</i>	60
4.4	Extração do óleo da amendoeira - TC.....	61
4.4.1	Extração mecânica.....	61
4.4.2	Extração por solvente	62
4.5	Avaliação da viabilidade econômica do cultivo, em larga escala, da <i>Terminalia catappa l</i> no rendimento de óleo para fins energéticos.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65

5.1	Parâmetros Físico-Químicos	65
5.2	Determinação da composição de Ácidos graxos presentes no óleo da amêndoa da <i>Terminalia catappa linn- TC</i>.....	69
5.3	Extrações do óleo.....	71
5.3.1	Extração mecânica.....	71
5.3.2	Extração por solvente	74
5.4	Análise técnica da viabilidade econômica do cultivo, em larga escala, da <i>Terminalia catappa linn</i>, no rendimento de óleo para fins energéticos.	77
6	CONCLUSÕES	82
7	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS:	83
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

Hoje em pleno século XXI a maior parte de toda energia mundialmente consumida é proveniente dos combustíveis fósseis, os quais são fontes limitadas e causam sérios danos ao planeta emitindo gases que intensificam o efeito estufa. Esse cenário tende a se agravar com a expectativa do aumento da população mundial para os próximos anos, que de acordo com as projeções do relatório da ONU (2015), a população atual de 7,3 bilhões deverá alcançar os 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100. Intensificando ainda mais as preocupações com as questões ambientais.

A pressão sobre reduções das emissões desses gases associadas à ameaça de esgotamento das reservas dos combustíveis fósseis e a alta dos seus preços, vêm aumentando as pesquisas sobre novas matérias primas para geração de energias mais limpas e produção de biocombustíveis. A exemplo, de óleos vegetais transformados (transesterificado) que tem sido uma alternativa na substituição de combustíveis derivados de petróleo, além de ser uma fonte de grande impacto econômico e social.

Nesse processo, insumos para esses fins, devem levar em consideração, matérias prima que não demandem grandes áreas de terra cultiváveis, que tenha baixo custo, que seja de grande abrangência e de menor importância na alimentação, pois, de acordo com OLIVEIRA (2013), nos próximos anos a quantidade de óleo vegetal no Brasil terá que ser ampliada significativamente para atender tanto a indústria de alimentação, quanto à grande demanda do mercado de biocombustíveis. Neste contexto a biomassa vem ganhando espaço, pois é considerada uma fonte energética renovável e de baixo custo.

No presente trabalho, foi dado enfoque especial ao biodiesel, cujo, os óleos vegetais têm despontado como sua fonte principal, e este vêm sendo utilizado de forma gradual, através de blendas (misturas) de biodiesel com diesel de petróleo, desde 2005. Através da resolução nº 7/2008, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP) estabeleceu que desde janeiro de 2010, a obrigatoriedade da adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no país na proporção de 5% em volume, com perspectivas de crescimento

deste percentual para os anos seguintes. Diminuindo assim, os impactos ambientais gerados por combustíveis fósseis.

Entres as oleaginosas mais utilizadas como fonte para produção do biodiesel está o algodão, o girassol, o pinhão manso, a mamona, a soja, o babaçu entre outros. Dentre essas, a soja lidera o mercado brasileiro na produção do biodiesel, 72% (ANP, 2015). Porém, outras oleaginosas, apresentam um bom potencial para complementar esse mercado do biodiesel.

Diante desse cenário, vem se estudando os processos de extração de óleos e gorduras com objetivo de otimizar os resultados. Os dois métodos mais empregados na extração desses óleos e gorduras são a prensagem e a extração por solvente, ou ainda, uma combinação de ambos, e, os solventes comumente utilizados no processo de extração são hexano, etanol e metanol (BIODIESELBR, 2008).

A produção de biodiesel utiliza 11% do volume mundial de óleos vegetais, no cenário atual de abastecimento, cujas reservas de oleaginosas existentes somente atendem 20% das necessidades mundiais (SILVA NETO, 2011). Isso torna necessária a busca de novas fontes oleaginosas que sejam adequadas como matéria-prima para complementar esse mercado de biocombustível.

A espécie arbórea *Terminalia catappa linn* é conhecida no Brasil, como amendoeira, castanheira, castanhola. De acordo com os trabalhos de TEIXEIRA (2010), apresenta um bom potencial em rendimento de óleo, aproximadamente 60 % de teor de óleo em sua semente (amêndoa). É uma espécie exótica adaptada as condições edafoclimáticas do Brasil, resistente ao calor, frio, escassez de água, ventos fortes e salinidade (SILVA et al., 2010).

Neste trabalho foi realizada a extração e a caracterização do óleo da amêndoa do fruto da *Terminalia catappa linns* objetivando avaliar seu uso na produção do biodiesel a partir da coleta de frutos secos realizada no Campus da Universidade Federal de Alagoa (UFAL). Foram feitas e avaliadas extrações por processo mecânico (prensagem a frio) e por solvente, utilizando os solventes, hexano, álcool etílico e metílico, onde o óleo extraído na prensagem, foi caracterizado de acordo com os seguintes parâmetros: umidade, massa específica, viscosidade, índice de acidez, índice de saponificação e a medida do pH. Além das características físico-químicas, foram analisados o teor de lipídios presente na amêndoa e a

composição de ácidos graxos, a fim de avaliar se o óleo atende a especificidade das normas legais para ser usado na produção do biodiesel. Por último, foi feita, a análise da viabilidade econômica do cultivo dessa espécie em larga escala, no rendimento de óleo, para fins energéticos em comparação com outras oleaginosas brasileiras.

2 DETERMINAÇÃO DE OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é extrair e caracterizar o óleo da amêndoa do fruto da Amendoeira (*Terminalia catappa linn*), visando seu uso na produção de biodiesel.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar e caracterizar o óleo da amêndoa da *Terminalia catappa linn*, de acordo com os seguintes parâmetros: umidade, massa específica, índice de acidez, índice de saponificação e o pH;
- Quantificar o teor de lipídios;
- Determinar a composição dos ácidos graxos presentes no óleo;
- Comparar a eficiência dos processos de extração por prensagem mecânica e por solventes;
- Avaliar a eficácia dos solventes orgânicos hexano, álcool etílico e metílico no rendimento do óleo extraído;
- Avaliar a viabilidade econômica do cultivo em larga escala da espécie em estudo, no rendimento de óleo para fins energético, em comparação com outras oleaginosas brasileiras.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura acerca da biomassa, óleos e gorduras e seus processos de extrações do biodiesel, da caracterização da espécie arbórea em estudo, a *Terminalia catappa linn*, e por fim, faz uma análise da viabilidade econômica no cultivo em larga escala da *Terminalia catappa linn*, no rendimento de óleo para fins energéticos.

3.1 Biomassas

A Biomassa é constituída pela matéria orgânica produzida pelos seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas) em seus diferentes processos, desde a fixação, pelos processos fotossintéticos da energia solar nas moléculas constituintes de suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar, ou trófica (BRISTOTI, 1993).

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). “Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos” (ANEEL, 2008).

A utilização da biomassa não é um processo recente, no entanto sua produção de forma eficiente e sustentável vem se desenvolvendo ao longo dos anos (KOJIRO,2010). Isso é reflexo da crescente demanda por fontes alternativas de energias que vem aumentando o interesse em pesquisas para encontrar novas matérias primas mais eficientes. Tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão da biomassa mais eficientes, a fim de melhorar o processo e reduzir impactos socioambientais.

A biomassa pode ser obtida de vegetais não lenhosos e lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, e também de resíduos orgânicos, nos quais se encontram os resíduos

agrícolas, urbanos e industriais, e a partir dos biofluidos, como os óleos vegetais (OLIVEIRA, 2013).

O uso planejado de forma sustentável da biomassa traz muitos benefícios ambientais e sociais, se comparada com os combustíveis fósseis, pois além do uso de terras agrícolas excedentes em países em desenvolvimento, utiliza os resíduos promovendo a reciclagem da matéria e gerando emprego (ROSILLO, et al., 2005). Além disso, a biomassa possui um ciclo extremamente curto e maiores benefícios ambientais e energéticos podem derivar do cultivo de plantas perenes e florestas, além de plantações com safras anuais, que são matéria-prima alternativa de curto prazo para a produção de combustíveis (HALL, et al., 2005).

Entre os principais produtos combustíveis derivados de biomassa pode-se destacar: etanol, biogás, lenha, biodiesel, e Bio-óleo. Na Tabela 1 estão representados os tipos de matérias primas, processos de conversão e os biocombustíveis resultantes.

Tabela 1- Principais combustíveis e suas matérias primas

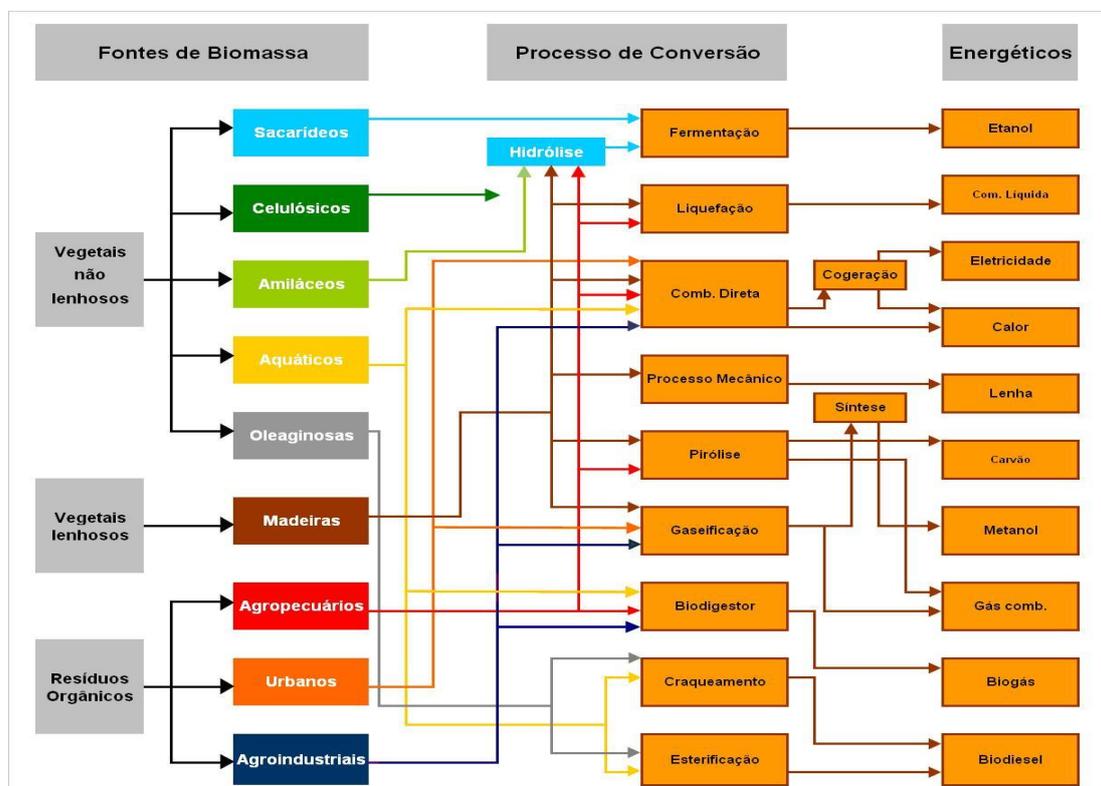
Matéria- prima	Processos de conversão	Biocombustível
Cana de açúcar	Fermentação/ destilação	Etanol
Resíduos orgânicos	Decomposição anaeróbica	Biogás
Arvore arbusto etc.	Mecânico	Lenha
Óleos vegetais/ gordura animal	Transesterificação ou esterificação	Biodiesel
Óleos vegetais/ gordura animal	Pirolise	Bio – óleo

Fonte: BARROS, 2007

Esse aproveitamento da biomassa pode ser feito por diversas formas, desde a combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, etc.), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (fermentação e digestão anaeróbica) (ANEEL, 2005). Estes processos

estão descritos de maneira mais detalhada na figura a seguir (Figura 1) apresentando as diversas fontes de biomassas, seu processo de conversão bem como seu aproveitamento energético.

Figura 1 - Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa.



Fonte: BEN, 1982.

O Brasil possui características especialmente adequadas à produção de biomassa para fins energéticos: clima tropical úmido, terras disponíveis, mão-de-obra rural abundante, carente de oportunidade de trabalho, e nível industrial tecnológico compatível. Dessa forma, o país é apontado pelos especialistas como líder no mercado bioenergético devido também à sua localização geográfica, e seu nível de adaptação de espécies florestais a praticamente todas as regiões do país. (EMBRAPA, 2010).

Nesse sentido, a energia da biomassa pode substituir os combustíveis fósseis tanto para produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transporte, que representa,

hoje, o setor que mais consome derivados do petróleo. No Brasil, o consumo agregado do setor cresceu à expressiva taxa de 3,8% (BEN, 2015). Em 2014, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 485,2 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (221,9 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes. (BEN 2015).

Com relação à Oferta Interna de Energia (OIE), total de energia demandada no país, em 2014 o Brasil atingiu 305,6 Mtep, dessa, a participação 39,4% foi de fontes renováveis. Já em 2015 as renováveis tiveram a participação de 40,6% na OIE (MME, 2015). A participação de fontes renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica. (BEN 2015).

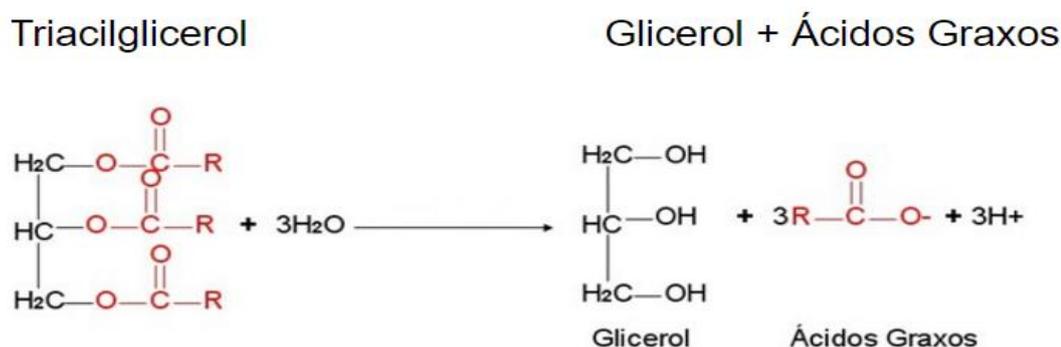
A matriz elétrica brasileira tem uma participação de 88,8% de fontes renováveis. A média mundial é 19,5% e, entre os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a média é 18,3%. (MME, 2015).

Diante disso, o Brasil é considerado um dos países com maior potencial energético do globo e emprega bastante as fontes de energia renováveis na sua matriz energética e para o país sustentar o seu ritmo de crescimento será necessário encontrar novas fontes de energia para complementar a geração de eletricidade e para movimentar o setor de transporte, nesse contexto as fontes renováveis a exemplo da biomassa, terão um importante papel nessa busca.

3.2 Os óleos e gorduras

Os primeiros estudos sobre a constituição de óleos e gorduras foram feitos pelo químico e físico francês Michel-Eugène Chevreul no início do século XIX (GUNSTONE, 1967). Esses estudos demonstraram que a hidrólise de óleos e gorduras dava origem a ácidos graxos e glicerol (Figura 2).

Figura 2 – Hidrólise de um triglicerídeo.



Fonte: GUNSTONE, 1967, adaptada pela autora.

A partir dessas observações, as gorduras e os óleos passaram a ser chamados de ésteres de glicerol (glicerídeos, acilglicerídeos ou triglicerídeos). Os **ésteres** são compostos naturais comumente associados ao odor agradável exalado por flores e frutos. Também encontrados na gordura animal e nos óleos vegetais, os triglicerídeos (GUNSTONE, 1967).

O óleo de origem vegetal é uma fonte de energia renovável sendo um dos principais produtos extraídos das plantas. Cerca de 80% é usado para aplicações na indústria de alimentos, os outros 20% são destinados para a fabricação de detergentes, cosméticos, lubrificantes, tintas, vernizes e plásticos (SILVA, 2009; REDA, et al., 2007).

Essas substâncias fisicamente são caracterizadas pela insolubilidade em água e solubilidade em solventes orgânicos (RAMALHO & SUAREZ, 2013). De acordo com a resolução ANVISA RDC 270 de 2005, são chamados óleos os lipídios que se mantêm líquidos e gorduras os lipídios que se mantêm em estado sólido à 25°C. Entre os principais grupos de lipídios, os triglicerídeos têm maior importância, por ter como principais componentes os ácidos graxos e seus derivados, os quais foram as primeiras substâncias utilizadas pelo homem para fins não alimentares e que por razões econômicas, no século XX, foram preteridos por derivados de petróleo. (RAMALHO e SUAREZ, 2013).

Os óleos vegetais são classificados segundo a composição em termo dos principais ácidos graxos e pelo grau de saturação ou insaturação dos mesmos (REDA et. al., 2007; REZENDE, 2009). Pois, Segundo POLEDNA (2005) os ácidos graxos diferem entre si a partir de três características: 1) o tamanho de sua cadeia hidrocarbônica; 2) o número de insaturações; 3) presença de grupamentos químicos. Algumas dessas características podem ser favoráveis ou não na produção do biodiesel.

Os três principais ácidos graxos presentes no reino vegetal são o palmítico, o oleico e o linoleico, acompanhados algumas vezes do ácido esteárico e linolênico (GUNSTONE, 2005). Esses ácidos e os demais, presentes nos óleos e gorduras, são constituídos geralmente por ácidos carboxílicos que contem de 4 a 30 átomos de carbonos e podem ser saturados e insaturados (WUST, 2004). Representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estruturas químicas dos ácidos graxos mais comuns.

Ácidos graxos	Nomenclatura IUPAC	Estrutura	Fórmula
Láurico	Dodecanóico	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Mirístico	Tetradecanóico	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmítico	Hexadecanóico	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Esteárico	Octadecanóico	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Araquídico	Eicosanóico	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behênico	Docosanóico	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Ligonocérico	Tetracosanóico	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Oleico	Cis-9-Octadecenóico	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleico	Cis-9, cis-12-Octadecadienóico	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolênico	Cis-9, cis-12 cis-15-Octadecatrienóico	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Erúcico	Cis-13-docosenóico	18:1	$C_{22}H_{42}O_2$

Fonte: SRIVASTAVA, 2000. Adaptado pela autora.

Sobre as insaturações dos ácidos graxos, quanto menor o número de insaturações (duplas ligações) nas moléculas, maior o número de cetano do combustível, ocasionando uma

melhor qualidade à combustão. Porém, um elevado número de insaturações torna as moléculas menos estáveis quimicamente (EMBRAPA, 2008). O índice de cetano é a medida da qualidade de combustão dos combustíveis diesel, onde um número adequado de cetano no combustível favorece o bom funcionamento do motor (SOUZA, 2016).

De uma forma geral, segundo a EMBRAPA (2008), um biodiesel com predominância de ácidos graxos combinados monoinsaturados (oleico, ricinoléico) são os que apresentam os melhores resultados.

Os óleos têm despontado como fonte de biodiesel substituindo os combustíveis derivados do petróleo devido à preocupação mundial com a poluição ambiental. Pois o uso de biodiesel permite uma redução nas emissões de gás carbônico, um dos grandes causadores do efeito estufa (LIMA, 2005).

Porém, para a comercialização desses óleos como biocombustível, deve-se seguir o padrão determinado por normas de órgãos fiscalizadores nacionais como ANP, ANVISA, e mundiais como ASTM, AOAC, entre outros (ANDRADE, 2014). Para verificar a qualidade e garantir a comercialização são avaliadas as características como: umidade, massa específica, viscosidade cinemática, índice de saponificação, índice de acidez e pH. Estes são os parâmetros mais comuns às propriedades dos óleos vegetais e biodiesel (ALMEIDA, 2011, et al., PREDOJEVIC, 2008; DE PAULA, et al., 2008). Todos esses parâmetros estão explicados abaixo:

Umidade: A determinação da umidade é um dos parâmetros legais para a avaliação da qualidade de óleos. Parâmetro que quantifica o percentual de água nos materiais, o excesso no biodiesel pode acarretar na corrosão das peças, a elevada quantidade nos óleos vegetais favorece a saponificação, consome o catalisador na reação de transesterificação alcalina.

Massa específica: propriedade relacionada ao tamanho das cadeias carbônicas. A presença de impurezas pode influenciar na densidade do biodiesel como, por exemplo, o álcool ou substâncias adulterantes.

Viscosidade cinemática: é a medida de vazão de um líquido associado à fricção ou atrito interno. Afeta a atomização do combustível no momento de sua injeção na câmara de combustão, quanto maior a viscosidade, maior é a tendência do biodiesel em causar

problemas pelo depósito de resíduos no motor. Determina-se o tempo em segundos para um volume fixo de líquido escoar por gravidade através do capilar de um viscosímetro calibrado a uma temperatura rigorosamente controlada. A viscosidade cinemática é o produto do tempo de escoamento medido pela constante de calibração do viscosímetro.

Índice de saponificação: Considerado um critério de identidade de óleos e gorduras, o índice de saponificação é definido como o número de miligrama de hidróxido de potássio (mg KOH) necessário para saponificar os ácidos graxos resultantes da hidrólise de um grama da amostra. Quanto maior o índice de saponificação menor o peso molecular médio dos ácidos graxos presente na amostra analisada.

Índice de acidez: determina a qualidade da matéria-prima e seu valor elevado promove a corrosão das peças do motor. O método é aplicável a óleos brutos, refinados, vegetais, animais, e gorduras animais. Os métodos que avaliam a acidez titulável resumem-se em titular com soluções de alcalinas a acidez do produto ou soluções aquoso-alcoólicas do produto, assim como os ácidos graxos obtidos dos lipídios.

pH: O pH ou potencial de hidrogeniônico é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio. O pH pode ser determinado indiretamente pela adição de um indicador de pH na solução em análise. A cor do indicador varia conforme o pH da solução. Indicadores comuns são a solução alcoólica de fenolftaleína, o alaranjado de metilo e o azul de tornassol.

Contudo, assegurando os parâmetros citados à cima, o estudo dos óleos vegetais vem sendo uma grande saída para a busca de soluções que sejam viáveis ao uso industrial de produção de biocombustíveis (RAMALHO e SUAREZ, 2013), uma vez que todos os óleos vegetais enquadrados na categoria de triglicerídeos podem ser transformados em biodiesel.

Porém, em termos de atratividade econômica do agronegócio, segundo MOURAD (2006) o rendimento em óleo e o uso de terra por tonelada de óleo produzida são indicadores de viabilidade econômica, social e ambiental e isso prevalece na escolha da cultura respeitando o potencial agrícola de cada região. Esse rendimento em óleo varia de acordo com a espécie e seu potencial de cultivo. Entre as culturas, destacam-se as diversas oleaginosas

brasileiras por produção de óleo por unidade agrícola (kg de óleo/ano). Dados convertidos para toneladas e expostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Características por produção de óleo por unidade agrícola (t de óleo/ha ano), das culturas oleaginosas no Brasil.

Espécie	Origem do óleo	Teor de óleo (%)	Meses de colheita / ano	Rendimento (t) óleo/há ano
Dendê/ palma	Amêndoa	22	12	3-6
Coco	Fruto	55-60	12	1,3-1,9
Babaçu	Amêndoa	66	12	0,1-0,3
Girassol	Grão	38-48	3	0,5-1,9
Colza / canola	Grão	40-48	3	0,5-0,9
Mamona	Grão	45-50	3	0,5-0,9
Amendoim	Grão	40-43	3	0,6-0,8
Soja	Grão	18-22	3	0,2-0,4
Algodão	Grão	15	3	0,1-0,2

Fonte: MAPA, 2005. Adaptada pela autora.

Diante disso, a busca por oleaginosas com alta produtividade em óleo por hectare plantado por ano está gerando investimentos em pesquisa e desenvolvimento na busca de novas fontes oleaginosas, melhoramento genético, clonagem para garantir alta produtividade em óleo e otimização do processo de extração (SILVA, 2009).

Ainda com relação à rentabilidade em óleo, são gerados subprodutos, como as tortas resultantes do processo mecânicos de extração dos óleos, que devem ter a seu processo de aproveitamento para evitar acúmulo de resíduos e também viabilizar economicamente o cultivo (MOURAD,2006).

E nesse contexto econômico, o Brasil possui potencial para ser um dos líderes mundiais na exploração, produção e comercialização de produtos do setor de óleos e gorduras

vegetais por toda sua diversidade vegetal, principalmente de plantas oleaginosas (ANDRADE, et al., 2006). Pois, de acordo com a EMBRAPA (2010) o país é apontado como líder no mercado bioenergético devido a sua localização geográfica e seu nível de adaptação de espécies florestais a praticamente todas as regiões do país.

3.3 Evolução histórica dos Combustíveis Derivados de Óleos Vegetais.

O uso de óleo vegetal como combustível é uma alternativa abundante e renovável (FUCHS, 2006). Desde 2003, na União Europeia os óleos vegetais são biocombustíveis reconhecidos e regulamentados, sendo amplamente utilizados em caminhões, ônibus, picapes, tratores, carros de passeio, barcos e geradores. E o primeiro motor inventado por Rudolf Diesel, em 1893, utilizava óleo de amendoim. Na década de 1910, a indústria direcionou trabalhos de desenvolvimento do motor para utilização com diesel de petróleo (GUERRA et al., 2010)

No Brasil, o início das pesquisas sobre o uso de óleos vegetais, como alternativa ao petróleo, teve início na década de 50 quando o Instituto Nacional de Tecnologia, o Instituto de Óleos do Ministério da Agricultura e o Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais pesquisaram sobre a eficiência dos óleos de ouricuri, mamona e algodão em motores diesel de seis cilindros (MME,2006)

Já na década de 70, a qual foi marcada pela aceleração da economia brasileira principalmente no setor industrial pelo cenário energético mundial em crise, aumento da demanda por energia e da consciência ambiental da população. Foram estimuladas pesquisas sobre combustíveis alternativos, incluindo os óleos vegetais, a fim de reduzir a dependência do país em relação ao petróleo oriundo do exterior (MME,2006). As experiências acabaram revelando um novo combustível originário de óleos vegetais e com propriedades semelhantes às do óleo diesel fóssil, o biodiesel.

A partir desse período, o uso de óleos como combustível, no Brasil, teve a seguinte trajetória (OSAKI, M. BATALHA, 2008):

- 1975 surge o Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos. Seu objetivo era gerar um excedente de óleo vegetal capaz de tornar seus custos de produção competitivos com os do petróleo. Previa-se uma mistura de 30% de óleo vegetal no óleo diesel, com perspectivas para sua substituição integral em longo prazo;
- Em 1980, foi anunciado o Pro biodiesel, desenvolvido na UFCE;
- No final de 1982, a UFCE também desenvolveu o querosene vegetal de aviação para o Ministério da Aeronáutica, denominado Prosene;
- Em 1983 o Governo Federal lançou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG) motivado pela alta nos preços do petróleo;
- Em 2005- foi criado, o Programa Nacional de Biodiesel (PNPB), tendo como a matéria-prima básica o óleo vegetal. Para estimular a produção de biodiesel no país (MME, 2006).

Os óleos vegetais não podem ser usados puros como combustíveis, devido a sua densidade e viscosidade serem muito altas em relação ao óleo diesel, provocando problemas de injeção do combustível no motor e também uma queima incompleta, levando à formação de coque nos motores, os quais podem sofrer sérios danos em médio e longo prazo. Dessa forma, o óleo vegetal deve ser usado misturado com o diesel de petróleo ou deverá ser feita uma adaptação no motor para que seja usado 100% de óleo (FUCHS, 2006; GUERRA; et. al., 2010).

Nesse sentido, todos os óleos vegetais enquadrados na categoria de triglicerídeos podem ser transformados em biodiesel (BARROS et al., 2008). Entretanto, o óleo vegetal (*in natura*) é bem diferente do biodiesel que deve atender à especificação estabelecida pela Resolução ANP n° 14/2012.

Dentro dos aspectos econômicos o uso de óleo vegetal como combustível tem como vantagem o fato de ser um combustível renovável e abundante (GUERRA, et al., 2010). Por outro lado, a venda de óleo virgem comestível e medicinal assegura ganhos maiores que seu uso como combustível. No entanto existem oleaginosas não comestíveis cujo óleo pode ser extraído na entressafra de outras culturas e empregado como excelente combustível (GUERRA et. al. 2010), à exemplo da espécie em estudo, a amendoeira (*Terminalia catappa linn*).

3.4 Processos de Extrações de Óleo e Gorduras

O processo de extração de óleos vegetais tem evoluído constantemente com objetivo de aumentar a eficiência, reduzir o consumo de energia e causar menor impacto ambiental. O aumento na eficiência desta tecnologia ficou restrito à maximização da remoção do óleo, à redução na perda de solvente para o meio ambiente e minimização dos custos operacionais. Esses processos variam de acordo com a matéria-prima processada. Os métodos mais empregados na extração de óleos vegetais são extração por solvente, a prensagem ou ainda uma combinação de ambos (ECYCLE,2014).

Do ponto de vista químico, na escolha do método mais eficaz, diversos fatores devem ser levados em consideração tais como a natureza do vegetal, o solvente empregado na extração, o tamanho das partículas, o tempo e a temperatura de extração, pois esses fatores influenciam diretamente na extração do óleo. Já sob o ponto de vista ambiental o método da prensagem é o mais indicado, produz um óleo de maior qualidade e não gera resíduos tóxicos (ECYCLE, 2014).

A extração por solvente é indicada para matérias-primas de baixa umidade como sementes com teor de óleo abaixo de 20% e quando se deseja maior rendimento de extração de óleo e obtenção de um farelo desengordurado, já a extração por prensagem e pré-prensagem seguida de extração por solvente podem ser aplicadas, em geral, para matérias-primas com elevado teor de óleo a exemplo de amêndoas que tem entre 50% a 60% de teor de óleo. Existem diversos equipamentos disponíveis para prensagem em diferentes escalas de processamento (ECYCLE, 2014).

Os objetivos desses processos são de obter uma gordura ou óleo de boa qualidade com o máximo de rendimento e isento, tanto quanto possível, de impurezas. Produzir uma torta (ou farelo) com valor nutricional tão alto quanto possível. É a obtenção do óleo sem alterações e impurezas, com o máximo de rendimento e a obtenção de uma torta de alta qualidade (AG BRAGANTE,2009)

Os óleos e gorduras são usados atualmente não só em alimentos, mas em uma miríade de produtos dos mais diversos ramos da indústria, de materiais alternativos aos derivados de petróleo (RAMALHO e SUAREZ, 2013). Para isso, foi necessário o desenvolvimento de processos de extração em larga escala. A diversidade de fontes de óleos vegetais leva a uma grande variabilidade dos percentuais de extração de óleos dessas fontes (MORETTO, E. e FETT, R. 1989). Pesquisas sobre este tema vêm sendo crescente na tentativa de otimizar cada vez mais esses processos.

3.4.1 Extração por Prensagem

A extração por prensagem é a operação de separação de líquidos de sólidos pela aplicação de forças de compressão, e geralmente usada nas indústrias de alimentos e bebidas (BRENNAN et al., 1990). Em termos de extração de óleo vegetal, é um processo muito utilizado atualmente para extração em pequena escala, para atender demandas locais de cooperativas e pequenas produções.

Como resultados da prensagem mecânica são obtidos dois produtos: a torta, que é a parte sólida que fica no interior da prensa e o óleo bruto ou extra virgem. Requer menor tempo que a feita por solvente (RAMALHO e SUAREZ, 2013). Porém, a eficiência do método é inferior ao da extração por solvente, devido às condições iniciais dos grãos: teor de umidade e temperatura (CAVALCANTE, 2013).

Resultado comprovado nos trabalhos de SINGH et al., (1984); SINGH et al., (2002), onde demonstram que a diminuição no teor de umidade e aumento na temperatura melhora o rendimento em óleo. Segundo os mesmos autores, o aquecimento quebra as células de óleo facilitando sua saída e o teor de umidade é o fator que mais afeta a quantidade de óleo residual na torta. Segundo, Reuber, 1992; Singh e Bargale, 1990, alto teor de água, reduzem a fricção, causam baixo rendimento e valores muito baixos prejudicam o funcionamento da prensa.

Além disso, esse processo é de fácil adaptação a pequenos produtores, exigindo baixo investimento inicial (PIGHINELLI. et al.,2009). E o uso do subproduto (torta) como

adubo ou ração animal (SINGH e BARGALE, 2000). Além de se poder obter um óleo com qualidade distinta da extração por solvente. Porém na prensagem, a extração de óleo não é completo e a torta obtida pode apresentar um alto teor de óleo residual. Ainda de acordo com SINGH e BARGALE (2000), a torta pode conter em média 8 a 14% em peso de óleo. Pela extração de óleo desta torta por solvente consegue-se reduzir esta quantidade para menos de 1% (TANDY, 1991)

Nesse processo, a semente deverá ser reduzida de tamanho, sofrer um tratamento térmico e após ser submetida à elevada pressão para retirada do óleo. Nos processos mais eficientes de prensagem, a torta retém cerca de 2 a 5% em peso de óleo. Diante disso, processo desse tipo só será vantajoso em sementes com alto teor de óleo, a exemplo da amendoeira que tem cerca de 60% de lipídios, TEIXEIRA (2010), já no caso de espécie como a soja, que contém cerca de 20% em peso de óleo, a perda devido ao óleo retido na torta poderá ser de 15 a 20% sobre o óleo total do grão. Nesses casos, a extração com solvente é a mais indicada, pois reduzirá a quantidade de óleo na torta a menos de 1% em peso sobre a massa da torta (AG BRAGANTE, 2009).

Nesse tipo de extração, são utilizados equipamentos desde os rudimentares até instalações industriais. Nesta são conhecida: prensas hidráulicas, mais utilizadas em instalações menores que não justificam a prensagem hidráulica contínua, e as prensas contínuas tipo “expeller”, que possuem maior capacidade, requerem menor investimento e menor mão-de-obra (RITTNER, 1996). De acordo com RAMALHO e SUAREZ, (2013) o resultado da extração por prensagem é de aproximadamente 85% de rendimento em óleo, o que justifica as vantagens da sua utilização. Destes equipamentos, detalharemos, apenas, as prensas hidráulicas, por ter sido o equipamento utilizado nas extrações mecânicas deste trabalho.

3.4.1.1 Prensas Hidráulicas

São equipamentos constituídos por um pistão, acionado hidráulicamente, que comprime o material contido em um cilindro provido de um orifício de saída para o líquido prensado, em ciclos de tempo e pressões definidas. Variam quanto à operação (manual ou motorizada); quanto ao movimento dos pistões (ascendente ou descendente); quanto ao

diâmetro e 34 comprimento dos cilindros; quanto à proporção entre diâmetro do cilindro e curso do pistão; quanto à automatização de ciclos de operação (RITTNER, 1996). De acordo com o mesmo autor, as prensas automáticas são muito mais eficientes e de maior capacidade.

3.4.2 Extração por Solvente

Para esse método, é usado um extrator, a exemplo do tipo Soxhlet, para extração de substâncias sólidas por solventes químicos (ANDRADE, 2014). Vale salientar que industrialmente não se utiliza Soxhlet, este tipo de extrator é utilizado em teste de laboratórios.

O processo ocorre quando o solvente contido no balão é aquecido, e através do seu ponto de ebulição é conduzido ao topo do tubo extrator, onde será condensado entrando em contato com a amostra contida nesse tubo, o que promoverá a difusão do solvente para o interior da celular e conseqüentemente a dissolução do óleo no solvente (ANDRADE, 2014).

A solução resultante é chamada de miscela formada por óleo e solvente, (PEREIRA, 2009). Nesse processo o sistema permite que certa quantidade do solvente puro passe várias vezes na amostra formando um ciclo. Cada ciclo corresponde a uma lavagem, teoricamente total da amostra sólida (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

O material a ser submetido à extração é previamente triturado a fim de facilitar a penetração do solvente, uma vez que, deste modo, além de estar contido no interior das células (sendo removido por difusão), também estará em forma de uma camada em volta das partículas do material, sendo removido por simples dissolução (MORETTO, E. & FETT, R.1989). O rendimento médio de óleo extraído é de aproximadamente 95% (CAVALCANTE, 2013).

Quando o solvente entra em contato com a fonte oleosa há a solubilização do óleo no solvente através da dissolução por simples contato entre as células vegetais destruídas durante a prensagem ou moagem, ou ocorre a difusão, onde o óleo atravessa lentamente as paredes semipermeáveis das células intactas para o meio líquido (RAMALHO e SUAREZ, 2013).

Em geral, os óleos brutos obtidos da extração por solvente apresentam cor mais escura, maior presença de sedimentos e maior quantidade de lipídios polares e fosfolipídios, em relação aos óleos extraídos por prensagem (EMBRAPA, 2015). Além disso, a extração com solventes orgânicos se torna agressiva ao ambiente devido aos produtos utilizados e resíduos gerados durante o uso de substâncias tóxicas, tais como os derivados de petróleo, a exemplo do hexano, que, por serem provenientes de fontes não renováveis, podem causar sérios danos ao ecossistema.

Nesse processo, o solvente mais utilizado é o hexano, derivado de petróleo. Além desse, outros solventes como éter etílico, etanol, metanol, entre outros, também são utilizados. De acordo com PEREIRA (2009), a quantidade estimada de solventes usados pela indústria em processo de extração convencional é estimada em aproximadamente, um milhão de toneladas por ano.

3.4.2.1 Solventes

Segundo CORREIA (2009), a qualidade do solvente é medida pela sua alta solubilidade em óleo em baixa temperatura, além disso, o solvente precisa ser inerte, ter baixa viscosidade, baixo ponto de ebulição, ser miscível em água e pouco poluente. Por apresentar a maior parte destas características, o solvente hexano é o mais utilizado no processo de extração de óleo vegetal. Um derivado do petróleo que possibilita a extração da quase totalidade do óleo.

Porém, por ser proveniente de combustíveis fósseis, pode causar sérios danos ao ecossistema. O que não se enquadra no critério de pouco poluente, citado por CORREIA (2009). Além disso, é altamente inflamável e apresenta um custo mais elevado comparado com outros (RAMALHO e SUAREZ, 2013). Existe grande interesse na substituição deste solvente por outros alternativos devido a uma crescente preocupação ambiental com a segurança do processo (Hammond et al., 2005).

O etanol, também denominado de álcool etílico, é um solvente muito versátil, sendo miscível em água e muitos compostos orgânicos. Também é miscível em hidrocarbonetos alifáticos (como o pentano, ou o hexano) (RAMALHO & SUAREZ, 2013).

A extração de óleo com uso de etanol surge como uma alternativa para hexano. Esse processo tem a vantagem de eliminar a etapa de destilação do solvente da miscela extraída (óleo + solvente) por um período de resfriamento (30 °C), além disso, traz vantagens ambiental e econômica, por ser oriundo de fontes renováveis e é por ter preço mais baixo quando comparado ao dos combustíveis fósseis (REGITANO – D`ARCE, 1985),

Por outro lado, em trabalhos anteriores, os resultados para extração de óleo, demonstra uma maior eficiência na rentabilidade do óleo com o uso do hexano como solventes. A exemplos dos trabalhos de GANDHI et al., (2003) que estudou a eficiência de extração de óleo da soja em alguns solventes alternativos e usou o hexano como referência. Os resultados mostraram uma maior eficiência com o solvente hexano. Aonde os rendimentos da extração com o hexano, nos tempo de 2,4, e 8 horas chegou respectivamente a 77,90% e 99,5% de óleo, em quanto para o etanol, usando os mesmos padrões de tempo, os rendimentos foram 71,92 e 99%.

Outro solvente comumente utilizado é o metanol, também chamado de álcool metílico e hidrato de metilo, é um álcool de cadeia curtíssima, com sua fórmula química (CH₃OH), encontrado na forma líquida. O metanol é principalmente um solvente industrial, pois ele dissolve alguns sais melhor do que o etanol (Martins et al.,2013).

Algumas das características que servem de parâmetro para medir a qualidade o solvente, estão expostas, de forma comparativa, entre o hexano e o etanol, na Tabela 4.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens da extração de óleo com os solventes hexano e etanol.

Hexano		Etanol	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Ponto de ebulição 65-70°C	Derivado do petróleo	Derivado de fonte renovável, biodegradável e não tóxico.	Ponto de ebulição 78°C
Seletivo aos compostos apolares	Alta inflamabilidade	Apresenta uma maior polaridade	Inflamável
Baixo calor latente de ebulição	Vapor mais denso que o ar	A extração com etanol promove um pré-refino	Miscível com água
Miscível com água	Recuperação do solvente por destilação	Recuperação do solvente sem gastos de energia	

Fonte: SOLOMONS E FRYHLE (2000) E REGITANO –D`ARCE (1985)

De acordo com PEREIRA (2009), além dessas propriedades referentes ao tipo de solventes ideal, para uma extração satisfatória, no processo de extração por solvente, deve-se, analisar também a granulometria da semente. Ainda segundo o mesmo autor, a quantidade estimada de solventes usados pela indústria em processo de extração convencional é estimada em aproximadamente, um milhão de toneladas por ano.

Diante de toda problemática ambiental, PARMENTIER (2004), diz que, o uso de solventes derivados de petróleo deverá ser substituído, no futuro, por processos tecnológicos mais sustentáveis, para atender às exigências dos órgãos governamentais de proteção ao meio ambiente. Afirma também, que processos que não utilizam solventes orgânicos estão despontando como alternativa potencial para extração de óleo vegetal, a extração enzimática, é um exemplo de tecnologia mais sustentável, a qual consiste no uso de enzimas que utilizam moléculas de água para romper a parede celular dos vegetais liberando o óleo para o meio aquoso. Neste processo, óleo é separado da água por centrifugação.

3.5 O Biodiesel

O conceito biodiesel foi introduzido pelos cientistas E. Duffy e J. Patrick, em 1853. O biodiesel é uma alternativa mais limpa para motores diesel, pois tem significativamente menos emissões e é completamente renovável. (ABREU, et al, 2010). O biodiesel substitui parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores do ciclo diesel, diminuindo assim o consumo do óleo diesel no país.

O uso do Biodiesel foi incentivado a partir da criação do Programa Nacional de Biodiesel (PNPB), em 2005, tendo como a matéria-prima básica o óleo vegetal. O programa previa a utilização parcial na concentração de 2% de biodiesel no diesel fóssil até o ano 2007 e a obrigatoriedade de uso nessa concentração para todo o diesel comercializado no país a partir de 2008 e de 5% a partir de 2013 (OSAKI, M. BATALHA, 2008). Desde 1º de novembro de 2014, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 7% de biodiesel. (ANP, 2015)

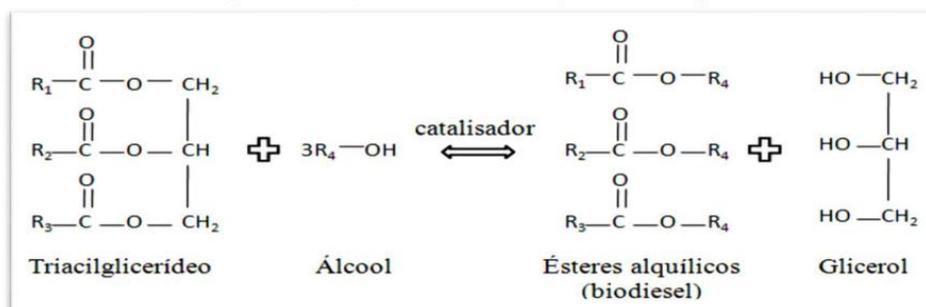
A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório será de 5% oito anos após a publicação da referida lei, havendo um percentual obrigatório intermediário de 2% três anos após a publicação da mesma. (MME, 2006).

De acordo com essa lei, o Biodiesel é um produto para uso em motores de combustão capaz de substituir parcial ou totalmente os combustíveis de origem fóssil, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos graxos através da reação de transesterificação de triglicerídeo com álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador, tendo a seguinte proporção de componentes: 87% óleo vegetal; 12% álcool e 1% catalisador. O produto resultante deste processo tem a seguinte composição: 86% de óleo biodiesel; 9% de glicerina; e 5% de álcool reprocessado, (MATTEI, 2008). Como regra geral, podemos dizer que 100 kg de óleo reagem com 10 kg de álcool gerando 100 kg de biodiesel e 10 kg de glicerina.

O biodiesel combustível é um composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, mostrada na figura 3, produzida a partir da transesterificação e/ou esterificação

de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal conforme a especificação contida no Regulamento Técnico (ANP, 2012).

Figura 3 - Reação de transesterificação de triglicerídeos

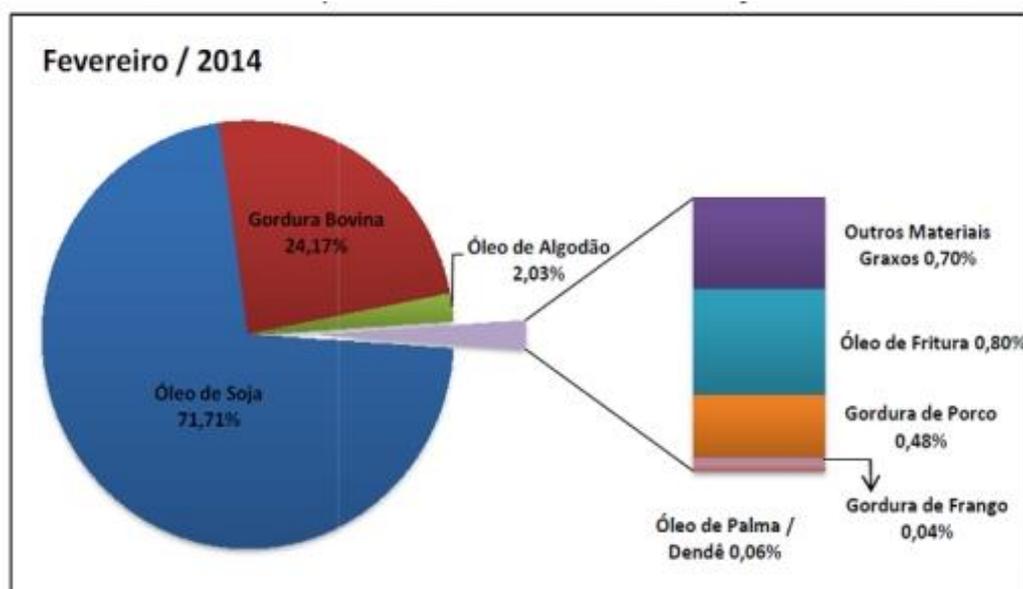


Fonte: BEVILAQUA, 2011

Como resultado da transesterificação dos óleos vegetais, esses terão uma redução da densidade em relação ao óleo vegetal; redução da viscosidade enquadrando-se dentro da especificação do óleo diesel; diminuição do ponto de fulgor; diminuição do ponto de névoa; redução do resíduo de carbono, menor do que o diesel; produtos com menor peso molecular, e aumento do número de cetano que se torna maior ou igual ao do óleo diesel (ALMEIDA, 2008).

A produção de biodiesel no Brasil pode apresentar um caráter de desenvolvimento econômico, social e de potencialização do agronegócio, principalmente na agricultura familiar (PARENTE, 2003). Este pode ser produzido de uma grande variedade de matérias-primas, (maioria dos óleos vegetais). Dentre essas se destacam: os óleos de soja, algodão, palma e gorduras de origem animal (usualmente sebo), bem como óleos de descarte (por exemplo, óleos usados em frituras) (KNOTHE, 2006). Na Figura 4, são apresentadas algumas matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil.

Figura 4- Principais matérias – primas utilizadas para produção de biodiesel.



Fonte: ANP, 2014.

De acordo com SUAREZ, et al., (2009), a cultura da soja possui uma produtividade muito baixa em lipídeos, demandando enormes quantidades de terra para suprir os mercados de biocombustíveis. No entanto, a soja corresponde hoje a aproximadamente 72% da produção brasileira de óleos, o que faz com que seja a matéria-prima preferencial da indústria de biodiesel (ANP 2014). Ao mesmo tempo, ela responde por 95% do mercado de óleo vegetal brasileiro para alimentação humana (OSAKI, M. BATALHA, 2008). Na Tabela 5 existe um quadro comparativo entre as produtividades, por hectare, de diversas fontes de óleos e gorduras tradicionais. Evidentemente, não são absolutos, pois a produtividade de culturas agrícolas depende de inúmeros fatores, como clima, nutrientes no solo, irrigação, entre outros (SUAREZ, 2009).

Tabela 5 – Comparação de algumas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel.

Fonte de biodiesel	Produtividade de óleo (L ha ⁻¹)	Área necessária (Mha)
Milho	172	1540
Soja	446	594
Canola	1190	223
Coco	2689	99
Óleo de palma	5950	45

Fonte: SUAREZ, 2009. Adaptada pela autora.

Devido às suas características físicas e químicas semelhantes ao diesel mineral e por ser perfeitamente miscível, o biodiesel pode ser misturado ao diesel mineral em quaisquer proporções em motores do ciclo diesel sem necessidade de adaptações (ESCOBAR et al., 2009; ROCHA, 2008). A mistura deve ser denominada precedida pela letra B (do inglês Blend). No caso, a mistura de 2% (em volume) de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100 (OLIVEIRA, 2012).

A qualidade do biodiesel pode ser influenciada por vários fatores, incluindo a qualidade da matéria-prima, a composição em ácidos graxos do óleo vegetal ou gordura animal de origem, o processo de produção, o emprego de outros materiais no processo e parâmetros posteriores à produção (KNOTHE et al., 2006).

3.5.1 Vantagens do biodiesel

O biodiesel é uma fonte limpa e renovável em comparação com o petróleo que leva milhões de anos para se formar e a queima de seus derivados contribui para o aquecimento do clima global por elevar os níveis de CO₂ na atmosfera.

O uso de biodiesel diminui significativamente a poluição atmosférica devido à baixa emissão de substâncias como: CO₂, SO_x e hidrocarbonetos aromáticos (OLIVEIRA, 2012).

Além disso, seu uso torna as economias dos países menos dependentes dos produtos derivados do petróleo.

Contribui ainda para a geração de empregos no setor primário, valorizando a mão-de-obra especializada, que no Brasil é de suma importância para o desenvolvimento social. Com isso, segura o trabalhador no campo, reduzindo o inchaço das grandes cidades e favorecendo o ciclo da economia autossustentável essencial para a autonomia do país (MME, 2006)

3.6 CARACTERIZAÇÕES DA AMENDOEIRA (*Terminalia catappa* Linn)

A caracterização física da espécie em estudo, detalhando suas principais partes como frutos e sementes, além da descrição da sua taxonomia, é importante para identificação do objeto de estudo. De acordo com ENIEL, MARTINS et al., (2001), esta caracterização pode sinalizar diferenças entre espécies de mesmo gênero como também possibilita comparações de uma espécie que habitam diferentes localidades geográficas.

3.6.1 A árvore

De acordo com COLLINS et al., (1992), é uma árvore nativa da Índia, com altura variando entre 25 e 45 m. Mas, nos trabalhos publicados por THOMSON E EVANS (2006), essa altura máxima é de 20 metros (Figura 05). Esses autores que divergem na altura da árvore, descrevem características físicas semelhantes para a espécie. Segundo essa descrição a amendoeira possui copa muito característica em formato piramidal, porém com os ramos secundários dispostos horizontalmente em verticilos ao longo do tronco principal, dando a impressão de camadas. O tronco é curto e canelado, com casca áspera de cor acinzentada. Apresenta folhas coriáceas, simples, com nervuras bem visíveis, de 20-30 cm de comprimento, concentradas na extremidade dos ramos e que adquirem coloração amarelada ou avermelhada antes de caírem, uma ou duas vezes ao ano, em período seco. As árvores florescem e frutificam anualmente, mas em muitas áreas como no Havaí, Fiji e Tonga, frutificam e florescem continuamente ao longo do ano. Suas flores são pouco vistosas de cor branco-esverdeada, dispostas em inflorescências unissexuais, porém ambos os sexos são localizados no mesmo ramo (THOMSON E EVANS, 2006).

Figura 05 – Amendoeira (*Terminalia catappa* linn)



Fonte: Autora (2016)

As espécies do gênero *Terminalia*, pertencem à família Combretácea que é formada por cerca de 600 espécies e entre os seus gêneros, destacasse dois de maior ocorrência, o *Combretum* e o *Terminalia*, ambos contendo 250 espécies (FRANCIS, et al.,1989).

A *Terminalia Catappa Linn* é uma árvore exótica, que cresce em regiões tropicais e subtropicais, localizadas em áreas costeiras. Esta arvore foi introduzida em muitos países tropicais do mundo, a exemplo do Brasil, devido à migração humana. E se naturalizaram nas praias da costa brasileira, devido a sua fácil germinação e pela sombra que suas folhas proporcionam (FRANCIS, et al.,1989)

Comumente denominada, no Brasil, de amendoeira, amendoeira-da-praia, amendoeira-da-índia, guarda-sol, chapéu-de-sol e castanhola (INSTITUTO PLANTARUM, 2005). Neste trabalho optamos pela denominação de amendoeira, por ser um temo mais usual, na cidade onde foi realizada a pesquisa.

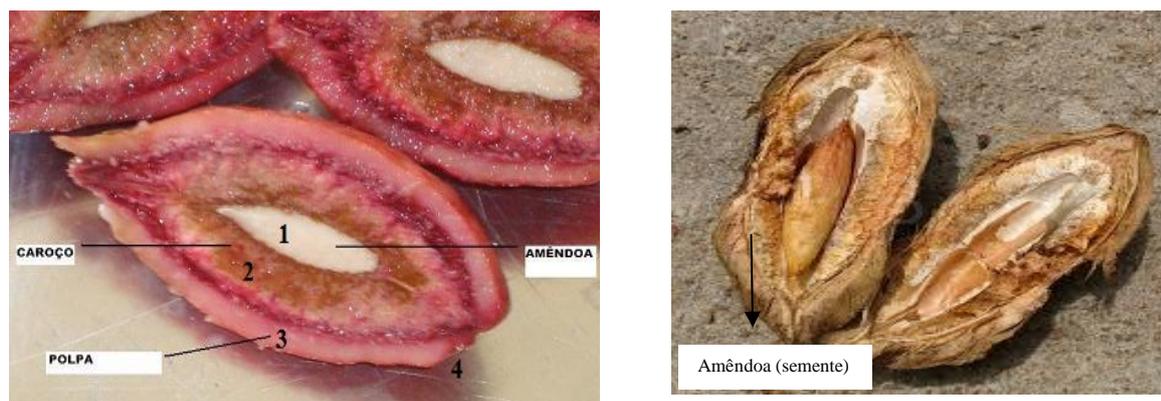
Diversos estudos têm sido realizados sobre as propriedades biológicas dessa espécie na saúde humana, tendo sido descritas várias atividades como anti-inflamatória, antitumoral, antiviral e antidiabética. Sobre esses estudos, PETERSON e JOHNSON (1978), em seus

trabalhos publicados, descreveram as folhas da *T. catappa* Linn como sendo utilizadas para fins terapêuticos, aproveitadas como forma de bebida (chá).

3.6.2 O fruto

Os frutos são drupas elipsoides biangulados, de 3-5 cm, de 3-5 cm de comprimento, de cor, que varia entre o roxo e o amarelo quando maduros, com polpa carnosa, contendo em seu interior uma semente ovalada e rica em óleo, envolvida por uma casca muito dura (INSTITUTO PLANTARUM, 2005). Esse fruto é constituído por uma parte externa (exocarpo), pela polpa (mesocarpo) e em seu interior por um caroço duro (endocarpo), contendo a semente (amêndoa) (VARESCHI, 1979 citado por GONZÁLEZ et al., 2005). (Figura 06). O valor da média encontrado de peso (g) do fruto foi de $20,56 \pm (4,61)$ (SOUZA, 2015).

Figura 06 – Partes do fruto maduro e seco, da *Terminalia catappa*. 1. Amêndoa; 2. Endocarpo (parte lenhosa); 3. Mesocarpo (parte fibrosa); 4. Epicarpo.



Fonte: TEXEIRA, 2010

Apesar, de a amêndoa ser considerada comestível (THOMSON E EVANS, 2006; PENNA, 1946). Porém é pouco utilizado na alimentação humana, o que se explica pela dificuldade de ser extraída do fruto, a qualidade comestível variável e a ausência de variedades com sementes maiores (DE PAULA, 2008). Já de acordo com relatos de

TEIXEIRA, (2010), as amêndoas são consumidas em zonas rurais do Taiwan, sul da Nigéria, Malásia e Índia.

Sobre a qualidade nutricional do fruto e da amêndoa, de acordo com LIMA (2012). O fruto da amendoeira, *T. catappa l.* apresentou alto teor de fibra alimentar na polpa (7,95 %) e semente (11,8 %), esta última demonstrou quantidades significativas de lipídeos (46,52 %) e proteínas (20,32%). O fruto ainda apresentou resultados bastante representativos de componentes minerais. Porém, ainda são escassas as informações sobre o valor nutricional desse fruto e sua semente.

De acordo com TEIXEIRA (2010), os frutos são produzidos de 3 a 5 anos após a plantação, com frutificações regulares de uma a duas vezes ao ano. Já, segundo SANCHES (2010), a frutificação inicia com cerca de três anos de idade. (Figura 07). A floração ocorre de agosto a novembro e a frutificação entre novembro e março. A dispersão destes frutos se dar pela flutuação, nas correntes marinhas e são consumidos por aves e por morcegos que também os dispersam (THOMSON & EVANS, 2006).

Figura 07 – Folhas e frutos (verde e maduro) da *Terminalia catappa* linn



Fonte: TEIXEIRA, 2010

3.6.3 A semente (amêndoa)

O termo amêndoa, segundo os dicionários MICHAELIS (2000) e FERREIRA et al., (1993) pode ser dado aos frutos provenientes de muitas árvores que produzem sementes

oleaginosas, incluindo a espécie *T. catappa*. Esse termo também pode designar o caroço que contém a semente ou qualquer semente contida em caroço. Segundo esses dicionários, os termos noz e castanha também podem dar nome a esses frutos. Neste trabalho optamos por usar o termo amêndoa para designar a semente oleaginosa do fruto da espécie em estudo. A qual tem forma ovalada, rica em óleo, aproximadamente 60%, envolvida por uma casca muito dura (INSTITUTO PLANTARUM, 2005). (Figura 08). A amêndoa apresentou peso (g) médio de $0,61 \pm (0,23)$ (SOUZA, 2015).

Figura 08: Fruto seco e amêndoa da *Terminalia catappa* (amendoeira)



Fonte: adaptada de DE PAULA, 2008, pela autora

De acordo com TEIXEIRA, (2010), os frutos são produzidos de 3 a 5 anos após a plantação, com frutificações regulares de uma a duas vezes ao ano. A produção de amêndoas (Figura 09) é estimada em cerca de 5 kg por árvore ao ano, pode ser o dobro a partir de estirpes geneticamente selecionadas e cultivadas em lugares de alta qualidade. As amêndoas são comestíveis, mas a sua qualidade e tamanho são variáveis. Porém, pouco usada na alimentação humana. O que se explica pela dificuldade de ser extraída do fruto (DE PAULA, 2008).

Figura 09 – Amêndoa seca, do fruto da *Terminalia catappa L.*



Fonte: Autora (2016)

3.6.4 Análise da Viabilidade econômica no cultivo em larga escala da Amendoeira (*Terminalia catappa linn*), no rendimento de óleo, para fins energéticos.

Mesmo sendo comumente encontrada em áreas urbanas litorâneas essa espécie é amplamente adaptável a diferentes solos, incluindo os inférteis e arenosos (DE PAULA, 2008). Segundo TEIXEIRA (2010), a produção de amêndoas é estimada em cerca de 5 kg por árvore, ao ano e pode ser o dobro a partir de estirpes geneticamente selecionadas e cultivadas em lugares de alta qualidade. Porém a produção da *Terminalia catappa L.* ainda não é considerada comercial, mas, por todas essas características, citadas a cima, se torna uma alternativa no processo de desenvolvimento agroindustrial do país (CAVALCANTE *et al.*, 1986).

Pesquisas demonstram que a semente da amendoeira (*Terminalia catappa linn*) é uma fonte potencial de energia, o que leva a crer que seu cultivo em larga escala, pode ser economicamente viável. DE PAULA (2008), obteve 42,13 % de lipídeos na semente da amendoeira, já GONZÁLEZ *et al.*, (2005) quantificaram 52,95 %. Estudos anteriores, como o trabalho de dissertação de mestrado realizado por TEIXEIRA (2010) apresenta teor de

lipídios na amêndoa de 58%. Resultados que demonstram que a esta espécie pode apresentar um bom rendimento de óleo, comparada à média de outras culturas oleaginosas brasileiras.

De acordo com SUAREZ et al., (2009), a cultura da soja possui uma produtividade muito baixa em lipídeos o que demanda enormes quantidades de terra para suprir os mercados de biocombustíveis. No entanto, a soja corresponde hoje a aproximadamente 72% da produção brasileira de óleos, o que faz com que seja a matéria-prima preferencial da indústria de biodiesel (ANP 2014). Por isso, em termos de atratividade econômica do agronegócio, o rendimento em óleo e o uso de terra por tonelada de óleo produzida, são indicadores de viabilidade econômica, social e ambiental e isso, prevalece na escolha da cultura, respeitando o potencial agrícola de cada região (MOURAD, 2006).

Ainda com relação viabilidade economicamente do cultivo de oleaginosas, a rentabilidade em óleo, são gerados subprodutos, como as tortas resultantes do processo mecânicos de extração dos óleos, que devem ter seu processo de aproveitamento para evitar acúmulo de resíduos e (MOURAD, 2006). Além disso, de acordo com o trabalho de SILVA, (2012), o poder calorífico, observado, na espécie em estudo, pode ser comparado às diversas fontes de biomassa já existente no mercado. O que sugere um bom potencial energético da biomassa da *Terminalia catappa l*. Elencamos aqui, de forma resumida, características que indicam a viabilidade economicamente no cultivo da amendoeira (*Terminalia catappa l*) no rendimento em óleo para fins energéticos.

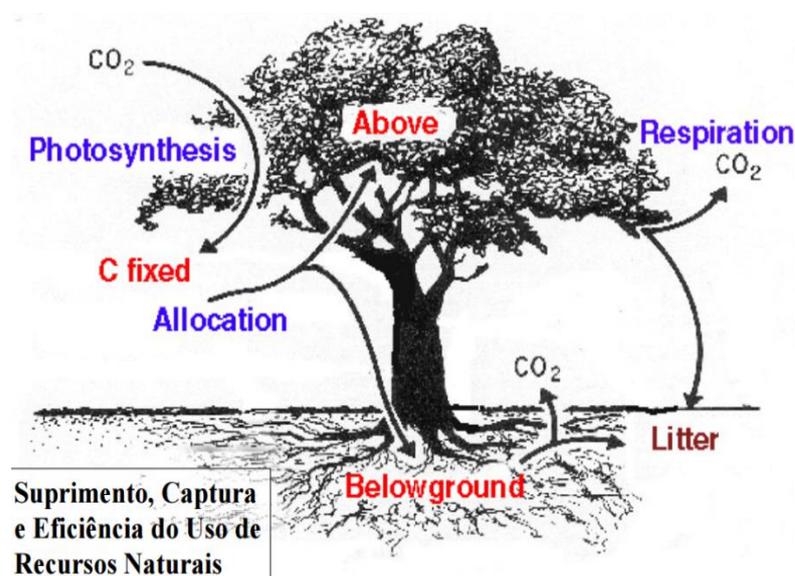
- Oleaginosa com teores elevados de lipídeos, cerca de 40% a 60%. (FREITAS, 2010);
- Agrega uma quantidade de energia comparável às biomassas já existentes; (SILVA, 2012);
- Bom rendimento em óleo e o uso de terra por tonelada de óleo produzida, comparada a outras culturas oleaginosas. (SANTOS, 2016);
- Rustica, perene; Amplamente adaptável a diferentes solos, incluindo os inférteis e arenosos (DE PAULA, 2008);
- Fácil germinação (INSTITUTO PLANTARUM, 2005);
- Cresce e floresce com manutenção mínima em ambientes adequados; (SANCHES 2009);

- Não compete com a produção de alimento, pouco utilizado na alimentação humana (DE PAULA, 2008);
- Alternativa no processo agroindustrial do país; (CAVALCANTE et al., 1986);
- Pode ser uma fonte promissora de produção de energia renovável, a exemplo do biodiesel, o qual apresentou resultados físicos- químico satisfatório (SILVA, 2012).

Com bases nessas características, pode-se concluir que o cultivo, em larga escala, da amendoeira (*Terminalia catappa l.*) pode ser promissor, no rendimento do óleo para fins energético, a exemplo do biodiesel, podendo complementar outras oleaginosas comumente utilizadas, na produção desse biocombustível. Porém é preciso calcular essa produtividade, analisando o espaçamento ideal para plantio e estimativa de produção de óleo dessa planta (SANTOS, 2016).

De acordo com STAP (2006) para se determinar um espaçamento para uma planta alguns fatores devem ser levados em consideração, tais como o regime hídrico da região (clima/solo), material genético, qualidade operacional dentre outros, característicos de cada espécie de planta. Fatores esse que influenciam para o maior crescimento da planta, conforme a Figura 10.

Figura 10- Fatores esse que influenciam para o maior crescimento da planta

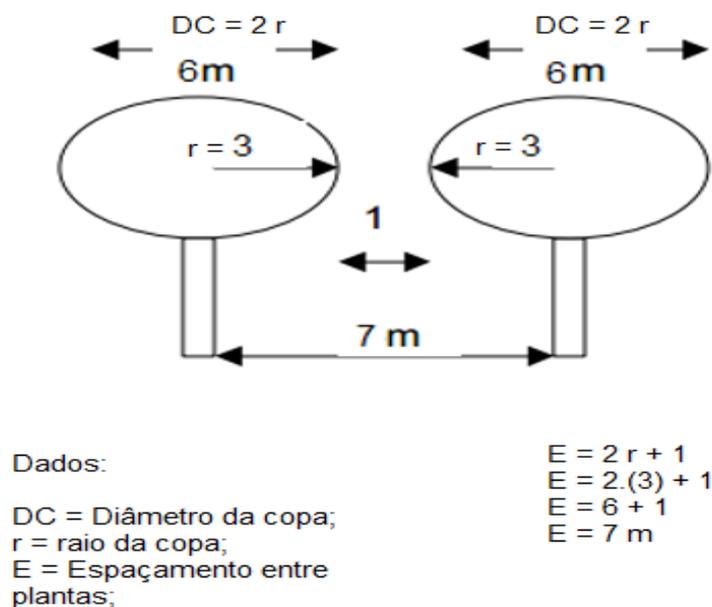


Adaptado de STAP (2006).

Segundo PIVETTA E FILHO (2002), para algumas arvores a exemplo das usadas para arborização urbana como amendoeira da praia, o espaçamento varia em função do porte das árvores. Normalmente recomenda-se o diâmetro aproximado da copa da espécie mais 1 metro. Ainda de acordo com esses mesmos autores, a espécie estudada, amendoeira da praia é considerada uma planta de grande porte com tamanho médio de 10m e apresenta um formato de copa irregular com diâmetro aproximado de 6 m.

Diante disso, ao se levar em consideração o tamanho da copa da espécie em estudo, é possível estabelecer o espaçamento ideal para plantio visando à produção de óleo dessa planta. (SANTOS, 2016). Figura 11.

Figura 11- Cálculo de espaçamento para plantio da amendoeira - TC



Fonte: SANTOS (2016).

Ao se adotar um espaçamento para uma determinada planta, deve-se levar em consideração que a quantidade de recursos do meio supra as necessidades fisiológicas da planta cultivada, sem que ocorra competição entre as plantas de interesse cultivadas na área.

Para isso deve se conhecer o porte da planta, bem como os aspectos morfológicos da mesma, tais como, altura, tamanho da copa, tipo do sistema radicular, formato das folhas, dentre outros (SANTOS 2016). Conforme SCHNEIDER E SCHNEIDER (2008), a densidade de um povoamento florestal pode ser interpretada como o grau de aproveitamento do solo pelas árvores, estando implícito o nível de utilização dos fatores de crescimento locais, como: água, luz, CO₂ e nutrientes. Para que uma planta tenha um bom crescimento, é necessário que a mesma esteja sobre ótimas condições ambientais e que os fatores climáticos do meio corroborem para o maior crescimento e a maior produção dos fotos assimilados (SANTOS 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo descreveremos todos os materiais e os métodos empregados para os processos de extração e caracterização do óleo da semente da amendoeira, para avaliar seu potencial na produção do biodiesel.

4.1 Local de pesquisa

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos - LASSOP, no Campus da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Localizada no Campo A. C. Simões (“latitude “sul 9° 29’45” e longitude oeste 35°, 49°, 54”), na Cidade de Maceió Alagoas.

4.2 A Matéria prima da pesquisa

As amostras de amêndoas foram coletadas de árvores distintas, período de novembro de 2015 a março de 2016 na cidade de Maceió. Uma parte foi de amendoeira do Campus da Universidade, e o restante foi coletado nas intermediações da cidade.

Foram coletados aproximadamente 10 kg do fruto, selecionados do seu estágio final de maturação ao seco, da amendoeira. Estes foram postos para secagem, ao ar livre, durante 15 dias. Esse período permitiu que a amêndoa se desprendesse da casca rígida que a envolve, o que facilitou sua retirada. Para isso, foi utilizada uma ferramenta de corte, a qual foi adaptada para esse fim. Conforme mostra a Figura 12 (A1). Ao término obtivesse um total aproximado de 3 kg de amêndoas seca. Figura 12 (A2).

Figura12- A1 Ferramenta de corte para retirada da amêndoa, A2 amêndoa retirada do fruto.



Fonte: Autora (2016)

Após a retirada das amêndoas, estas foram desidratadas em estufa por 24 horas a uma temperatura em torno de 60°C, pois temperaturas superiores a 60°C acarretaria na queima das sementes. Em seguida, as amostras foram refrigeradas a 10°C, até o momento da prensagem, com intuito de evitar a deterioração. Durante o período da extração as amostras da amêndoa foram submetidas novamente a uma temperatura de 60°C, por 12 horas, para eliminar a umidade adquirida durante o período de refrigeração. Esse processo de secagem da amêndoa antes da extração é para reduzir o máximo possível o teor de água, pois a teor de umidade é o fator que mais afeta a quantidade de óleo residual na torta.

4.3 Caracterização do óleo da amêndoa da *Terminalia catappa linn.*

A caracterização deste produto é de extrema importância uma vez que a composição deste óleo pode ser decisiva na definição de seus usos potenciais, pois, na obtenção e emprego dos óleos vegetais, tanto para fins alimentícios como o emprego desses óleos diretamente na formulação de combustíveis minerais, o conhecimento de suas propriedades físicas e químicas é de fundamental importância para seu uso.

De acordo com a EMBRAPA (2008), qualquer óleo vegetal pode ser utilizado como combustível para motores a diesel, entretanto alguns óleos têm melhor desempenho em função de suas propriedades físico-químicas. Nesse sentido, visando o uso do óleo da amendoeira, na produção do biodiesel, foram caracterizadas as propriedades, físico-químicas do óleo dessa espécie. Tais como: teor de umidade, massa específica, viscosidade cinemática, índice de acidez, índice de saponificação e o pH. Além dessas, foram analisados o teor de lipídios, a composição dos ácidos graxos, e avaliados a viabilidade econômica no rendimento em óleo em unidade agrícola de t/óleo/h. Estas análises foram feitas seguindo normas oficiais utilizadas, comumente em cada uma delas. Tais propriedades físicas- químicas, já foram descritas nos capítulos anteriores, deste trabalho.

4.3.1 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade foi feita pelo método direto. Onde se quantifica o peso devido à perda de água por evaporação através da balança de umidade MARCONI (modelo ID50), (Modo=Automático). Foi feita a pesagem de aproximadamente 1,0g das amostras do óleo, da amêndoa, filtrado *in natura*, em placas de alumínio. Cada amostra do óleo foi aquecida a uma temperatura de 105°C em um tempo miscível (variação de 0,01g por 30s), ambos os fatores definidos anteriormente pela calibração da balança de umidade e atendendo as normas da ASTM D6304 (2007). O percentual de água na amostra foi dado pela diferença das massas do líquido analisado ($m_i - m_f$). O processo foi repetido até peso constante, que é indicado quando a balança permanece sem uma variação de 0,01g no intervalo de 30 segundos.

4.3.2 Massa específica

A massa específica foi determinada utilizando as normas da ASTM D4052 (2011). A amostra do óleo da amêndoa foi resfriada em banho termostático a uma temperatura de 20° C, em seguida foi inserido o densímetro digital da marca Petrol (modelo DMA 35n), (Figura 13), o qual foi calibrado com etanol. As análises foram realizadas em triplicata, o resultado obtido foi confrontado com a faixa aceitável de massa específica proposta pela resolução nº 14/12 da ANP que corresponde a 850-900 kg/m³ (0,85 – 0,90 g/cm³).

Figura: 13 – Densímetro DMA 35N Petrol.



Fonte: Autora (2016)

4.3.3 Viscosidade cinemática

A viscosidade do óleo da amêndoa foi determinada a uma temperatura de 40° C de acordo com a norma ASTM D445 (2015). Para análises foi utilizado um viscosímetro capilar Cannon Fenske (Figura 19) No qual foram inseridos 8,0 mL da amostra e cronometrado o tempo de passagem do óleo entre o menisco superior e o inferior de um capilar de 200. Cada viscosímetro utilizado para determinação do referido parâmetro possui uma constante fixa que é multiplicada pelo seu valor do tempo em segundos. Este experimento foi realizado em triplicata sob uma a temperatura de 40°C em um banho termostático, mantido por um circulador de aquecimento da marca SCHOTT (modelo CT52) (figura 14). Vale salientar que, a resolução nº 14/12 da ANP estabelece um intervalo aceitável de viscosidade cinemática de 3,0 a 6,0 mm²/s (cSt/seg) para o biodiesel. O cálculo dos resultados foi feito através da equação (1).

$$V = T \times K \quad (1)$$

Onde:

- V viscosidade cinemática (g/cm³)
T Tempo (s)
K Constante do viscosímetro (0,08902 cSt/seg ou mm²/s)

Figura 14: Circulado de aquecimento SCHOTT (modelo CT52)



Fonte: Autora (2016)

4.3.4 Índice de Acidez

O índice de acidez foi realizado de acordo com as normas da ASTM D664 (2011), de início foi feita a medição do pH de uma amostra do óleo da amêndoa filtrado (pH = 6). A análise foi realizada com o auxílio do potenciômetro automático TITRATOR (modelo AT-500N), em duplicata.

As amostras do óleo foram adicionadas em recipientes plásticos com volumes aptos para total imersão do eletrodo. Em seguida foram separadas duas amostras da massa (aproximadamente 1,0g) do óleo da amendoeira (in natura), as mesmas inseridas em erlenmeyers de 25mL e diluídas em uma solução de éter etílico – etanol (2:1) com três gotas do indicador fenolftaleína (1%). Por último, cada amostra foi titulada utilizando-se uma bureta (25mL) contendo uma solução padronizada de hidróxido de sódio 0,01M, até o surgimento da coloração rósea. Assim, o índice de acidez foi calculado pela seguinte equação (2):

$$IA = \frac{(VA-VB).MM.M.Fc}{P} \quad (2)$$

Onde:

I.A. = Índice de acidez.

VA = volume gasto na titulação da amostra (mL)

VB = volume gasto na titulação do branco

MM = Massa molar do NaOH (39,9971g/mol)

M = Molaridade do NaOH (0,01mol/L)

Fc = Fator de correção da solução do NaOH (0,98)

P = Massa da amostra (g)

4.3.5 Índice de saponificação

O índice de saponificação foi realizado seguindo as normas da ASTM D5558-95 (2011). Seguindo o padrão dessas normas, 1g da amostra de óleo foi analisada, considerando a relação da massa de hidróxido de potássio (KOH) em mg, necessária para saponificar os ácidos graxos livres (AGL) presentes no óleo. Para isso, foi utilizado 2,0g do óleo da amêndoa filtrado em um balão volumétrico de 300 ml, (Figura 15), onde neste foi inserido 25 ml da solução alcoólica com 4% de NaOH e posto em aquecimento sob refluxo por 30 minutos até a saponificação da amostra (Figura 22). Em seguida, o balão foi desconectado do condensador para o resfriamento e feito a titulação do branco em ácido clorídrico 0,5M com 30ml de NaOH em solução alcoólica anotando-se o volume gasto. Por fim, a amostra foi titulada com 1 ml de solução de HCl 0,5M até o desaparecimento da cor rósea. O resultado do índice de saponificação foi determinado pela seguinte equação (3):

$$I. S. = \frac{N.Fc.(VB-VA)}{P} \quad (3)$$

Onde:

I.S. = índice de saponificação.

VA = Volume gasto na amostra (mL)

VB = Volume gasto na titulação do branco (mL)

N = Normalidade do NaOH para HCl (corresponde a 19,9985 para relação 1:0,5M)

Fc = fator de correção da solução de HCl 0,5M; (0,87)

P = massa da amostra (g)

Figura 15 - Balão volumétrico de 300 ml, em “banho maria”.



Fonte: Autora (2016)

4.3.6 O pH

O pH foi medido através do equipamento pHmetro de bancada digital PHTEK PHX-3B com controle de temperatura.

4.3.7. Determinação do teor de lipídios na amêndoa da *Terminalia catappa l.*

Para a análise desta propriedade, o teor de óleo presente na amostra da amêndoa foi determinado através da extração por solvente, utilizando o método Soxhlet padrão. Onde

utilizasse aproximadamente 100g da amostra da amêndoa, in natura, inserida em um sachê de papel filtro e realiza a extração por um tempo de 6 horas, com os solventes orgânicos, hexano, etanol, e metanol. O rendimento de óleo extraído em relação à amostra é determinado a partir da divisão entre a massa total de óleo extraída e massa da amostra no processo. As massas foram aferidas em balança analítica (SHIMADZU, modelo AY220, máx. 220 g, mín. 0,01 g).

Dessa extração resulta a mistura de óleo e solvente, a qual é feita a separação do solvente seguida do processo de recuperação desse solvente, no próprio equipamento, para ser aplicado novamente em novos experimentos. Ao término do processo as amostras foram levadas a estufa por 24 horas a 60 °C, tempo e temperatura suficiente para que o solvente restante seja evaporado, não prejudicando o balanço de massa.

A equação (4) foi utilizada para determinar a massa de óleo total extraída.

$$m_{\text{óleo}} = \Delta m = m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}} \quad (4)$$

Onde:

$m_{\text{óleo}}$ = massa de óleo extraída,

m_{inicial} = massa da amostra antes do processo de extração ,

m_{final} = massa da amostra após o processo de extração.

4.3.8 Determinações da composição dos Ácidos graxos no óleo da amêndoa da *Terminalia catappa linn.*

A identificação dos ácidos graxos da amêndoa foi determinada por cromatografia em fase gasosa (CG), sendo empregado um cromatógrafo da Shimadzu, modelo ZB-WAXplus detector de ionização de chama (FID) operando a 250°C. A análise foi realizada através de uma adaptação do método prescrito pela norma europeia EN 14103, onde a amostra foi dissolvendo, aproximadamente, 0,0500 g em da amostra em 1,0 ml de hexano. Em seguida os compostos foram separados em coluna capilar apolar ZB-WAXplus com 30.0 m de

comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno e filme com 0,25 μm de espessura e gás hidrogênio, de alta pureza (99,95 % LINDE), Em seguida foi empregada uma coluna capilar apolar ZB-WAXplus com 30.0 m de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno e filme com 0,25 μm de espessura e gás hidrogênio, de alta pureza (99,95 % LINDE), usado como gás de arraste. A programação de temperatura foi: temperatura constante de 200°C (10 min); A composição em ácidos graxos foi calculada com base na identificação e integração das áreas dos picos por normalização.

4.4 Extração do óleo da amendoeira – TC

As extrações do óleo da amêndoa foram realizadas através da prensagem mecânica e por solvente, em um tempo determinado de uma hora e seis horas respectivamente. A Semente *in natura* foi submetida a uma extração com os solventes, já descrito, por um tempo de doze horas para cada um. Todas as extrações foram realizadas em duplicatas. Procedimentos detalhado a segui.

4.4.1 Extração mecânica

O óleo foi extraído em uma prensa hidráulica da marca Tecnal (Figura 16), Cerca de 100g de castanhas foram transferidos para o vaso cilíndrico. O processo foi realizado em duplicata para as pressões de 165; 247,5; 330; 412,5 e 495kgf/cm², no tempo total de 60 min, para cada pressão. As amostras foram submetidas a uma determinada pressão, a qual foi mantida, aproximadamente, constante durante o tempo pré-estabelecido do processo de extração. O total de óleo extraído foi recolhido em uma proveta e pesado ao longo da extração. O cálculo do rendimento foi feito em relação à massa da amêndoa seca utilizada na extração. Como resultado da extração, obteve-se uma torta de cada prensagem, no total de cinco, com diferentes teores de óleos residuais. Estas foram encaminhadas para extração por solvente para determinação do teor de óleo remanescente das prensagens.

Figura 16 – Prensa hidráulica Tecnal



Fonte: Autora (2016)

4.4.2 Extração por solvente

Para a extração por solvente, foram utilizadas aproximadamente 5g da amostra da torta, resultante de cada prensagem (figura 17), e 3g das amêndoas in natura trituradas. O processo foi realizado em duplicata pelos métodos Soxhlet padrão e contínuo, com os solventes: hexano, metano e etanol, no tempo de 6h para as amostras da torta e de 12h para amostra in natura, no extrator B-811 (Figura 18). Os experimentos avaliaram os métodos e os tipos de solvente. Cada amostra foi envolvida em um sachê de papel filtro e introduzida no extrator. O béquer do equipamento foi preenchido com 250 ml do solvente determinado. O extrator B-811 foi programado de acordo com o método para cada um dos solventes, este descrito no próprio extrator. As misturas óleo-solvente foram conduzidas para o processo de separação no próprio extrator. O rendimento de óleo foi estimado através da diferença entre a massa da amostra inicial e a massa de amostra final.

Figura 17- Torta resultante da prensa mecânica.



Fonte: Autora (2016)

Figura 18 – Extrator B-811



Fonte: Autora (2016)

4.5 Avaliação da viabilidade econômica do cultivo, em larga escala, da *Terminalia catappa* L. no rendimento de óleo para fins energéticos.

Esta análise foi feita a partir determinação do espaçamento para cultivo, em campo da *Terminalia catappa*, em parceria, através de consultoria técnica, com o Engenheiro Agrônomo Mestre em Produção Vegetal, José Rosildo T. Santos. Este utilizando seus conhecimentos e baseando-se em referências e normas técnicas, determinou o espaçamento para o cultivo da amendoeira (*Terminalia catappa* L.). Assim a determinação do espaçamento foi calculada, utilizando a seguinte equação (5):

$$A = E_1 \cdot E_2 \quad (5)$$

Onde:

A: Área de ocupação de uma planta;

E₁: Espaçamento entre linhas;

E₂: Espaçamento entre planta.

A partir dessa estimativa e baseada em coeficientes técnicos de produção de óleo por planta, foi possível estimar a produtividade de óleo/planta/hectare.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentaremos os resultados obtidos e faremos uma análise discutindo desses dados em comparação com dados de outros trabalhos, tanto para a mesma espécie em estudo, quanto para outras oleaginosas brasileiras a exemplo da soja. Para isso, usando sempre, como parâmetros as normas vigentes.

5.1 Parâmetros Físico-Químicos

Os resultados das análises físico-químicas do óleo da amendoeira (*Terminalia catappa linn*) em seu estado *in natura*, comparado com valores encontrados em literatura encontram-se apresentados na Tabela 6. Vale ressaltar, que o óleo utilizado para caracterização dos parâmetros físico-químicos, foi extraído por prensagem mecânica a frio.

Tabela 6, Resultados dos parâmetros analíticos realizados com o óleo da *Terminalia catappa linn* – TC comparado aos resultados encontrados para a soja.

Caracterização do óleo da <i>Terminalia catappa Linn</i> (TC)			
Parâmetros analíticos realizados	TC	TC	Óleo de soja
	Resultados experimentais	SOUZA, et al,2015	ALMEIDA, k.P.A., et al, 2011
Umidade (%)	0,73	nd	nd
Massa específica (kg/ml a 20°C)	0,916	0,905	0,945
Viscosidade (mm ² s ⁻¹ a 40°C)	42,00	38,05	92,3*
Índice de acidez (% AGL)	0,26	3,35	0,61
Índice de saponificação (mg NaOH,)	285,0	173,91	142,32
pH	6,00	nd	---
Teor de lipídios na amêndoa (%)	56,00	53,00	--

Fonte: Autora (2016)

nd = não determinado.

*Média dos valores feitos em triplicata. (mm^2s^{-1} a 25°C)

Nesta pesquisa, o teor de água para o óleo *in natura* da amendoeira foi (0,73%). Segundo FERNANDES (2010), o óleo estará dentro das especificações para a produção de biodiesel, quando a umidade se apresentar abaixo de 0,5%. O que demonstra que o óleo da *Terminalia catappa l.*, está acima desse requisito. E comparando com as normas da ASTM D6304 (2007) e da resolução nº 14/12 da ANP (2012), que determinam intervalos de 200mg/kg (0,20g/kg), o resultado também ficou acima do limite aceitável por esta resolução. Isso implica em ajustes no processo de armazenamento e etapa de secagem da oleaginosa, a fim de reduzir o teor de umidade agregando valor ao combustível.

O valor da densidade encontrado para óleo da amêndoa foi um pouco acima do valor limite encontrado por SOUZA, (2015) ($0,905 \text{ kg/m}^3$), mas abaixo ao encontrado por ALMEIDA, et al., (2011), para a soja ($0,945 \text{ kg/m}^3$). Este resultado está na média de óleos vegetais que variaram de $902,6 \text{ kg m}^{-3}$ para o de amendoim a $940,6 \text{ kg m}^{-3}$ para o de babaçu. (PEREIRA, et al.,2016) e de acordo com Regulamento Técnico para Fixação e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais estabelecido pela ANVISA (1999), que estabelece a densidade relativa do óleo de soja à temperatura de 20°C entre 0,919 e 0,925 g/ml. Sobre o limite para o biodiesel, a ANP (2012), estabelece o limite máximo de 850 kg/m^3 a 900 kg/m^3 . Portanto, a densidade encontrada para o óleo da amendoeira se enquadra nos padrões mínimos de qualidade exigidos pela ANVISA (1999), Porém, está um pouco acima do limite estabelecido pela ANP (2012).

O índice médio de viscosidade foi $42 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ sob a temperatura de 40°C . Este resultado foi próximo dos valores encontrados nos estudos e SOUZA et al., (2015) ($38,5 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ a 40°C), e baixo, comparados aos encontrados por ALMEIDA (2011), para a soja, que se apresenta bastante alto. Porém, é preciso levar em consideração que, este resultado encontrado para a soja foi realizado a uma temperatura de 25°C , o que influenciou essa propriedade. Consequentemente, esta análise realizada sob a mesma temperatura, utilizada no experimento, 40°C , daria uma viscosidade bem menor. Pois, de acordo com ALMEIDA (2011), com aumento da temperatura o óleo se tornará mais homogêneo.

Terminalia catappa linn (TC) obteve uma viscosidade $42 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ sob a temperatura de 40° C , sete vezes maiores que os limites estabelecidos para o biodiesel, pela resolução nº 14/12 da ANP, a qual determina um intervalo aceitável para o esse biocombustível de $3,0 - 6,0 \text{ mm}^2/\text{s}^{-1}$ a 40°C . Possivelmente esses resultados são devidos à composição em ácido graxo presente na amendoeira.

Porém, para obter o biodiesel utiliza-se o processo de transesterificação que reduz a massa molar para aproximadamente $1/3$ em relação aos triglicerídeos, diminui significativamente a viscosidade e melhora a volatilidade do óleo. (BBR, 2013). Isso indica que óleo da amendoeira, pode ser utilizado na produção do biodiesel.

A análise do índice de acidez (IA), seguiu as normas da ASTM D664 (2011) e da resolução nº 14/12 da ANP, ambas estabelecem um limite de $0,50\text{mgNaOH/g}$ como valor aceitável para o (IA) do biodiesel. Referências da literatura variaram desde $0,33\text{mgKOH g}^{-1}$ (por prensagem) até $5,89\text{mgKOH g}^{-1}$ (por solvente) (SINGH,2010).

O valor do IA do óleo da TC, ($0,26\% \text{AGL}$), foi bem abaixo para dos obtido, por SOUZA (2015), ($3,35\% \text{AGL}$) e do encontrado por ALMEIDA (2011) para o óleo de soja ($0,61\% \text{AGL}$). Os resultados experimentais estão dentro das normas estabelecidas pela a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (1999). Tal norma determina que o índice de acidez do óleo de soja refinado em gramas de ácido oleico/100 g de óleo é de, no máximo, $0,3\%$.

A diferença nos valores obtidos por SOUZA (2015) pode ser explicada atribuindo as diferenças climáticas dos estados onde as amostras foram coletadas. Pois estas amostras foram coletadas no Município de Belém, Estado do Pará, Brasil, referentes à safra de 2014. Já as utilizadas neste trabalho, são oriundas da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil, referente à safra de 2014/15. Além desses fatores, o tratamento que é dado amostra assim como a forma de armazenamento, pode também justificar essa discrepância nos resultados.

Porém, de acordo com BARROS (2013), os valores de índice de acidez, e de teor de umidade das matérias-primas empregadas na produção de biodiesel devem ser baixos, pois os ácidos graxos livres e a água são prejudiciais ao bom desempenho do processo de produção de biodiesel. Sobre esses valores, NAIK et al., (1992), sugere, que a quantidade ideal de ácidos graxos livres presentes nos óleos e gorduras deve ser inferior a 3% para que a transesterificação seja eficiente. Confirmando esses estudos, SILVA (2005), afirma que, se a acidez do óleo for menor que 3mgNaOH/g , não é necessário neutralizá-lo, pois, deste modo à

reação de transesterificação procederá com maior eficiência. Sendo assim, o índice de acidez do óleo da amendoeira (TC), tanto o encontrado por SOUZA (2015), que apesar de estar um pouco acima, (3,35%), quanto o encontrado nas análises deste trabalho (0,26%) se enquadra nas devidas especificações.

Sobre o índice de saponificação (IS), foram observados, na literatura, resultados para o óleo de soja com média de 190,0mgKOH g/óleo, o sebo bovino com média de 195 mg KOH g/óleo e o óleo de moringa 176,23 e 179,80 mg KOH g/ óleo. Neste trabalho, os valores encontrados para o óleo *in natura* da amendoeira que equivale a 285,0mgNaOHg/óleo, está bem acima dos valores para os óleos citados, bem como, para os resultados encontrados por SOUZA (2015), (173,91) e os encontrados por ALMEIDA (2011), (142,32mgNaOHg/óleo).

Diante dos resultados, o IS da amendoeira, (285,0mgNaOHg/óleo) está acima das especificações da ANVISA (1999), a qual determina um índice de saponificação para os óleos virgens em um intervalo de 189mgKOH/g a 195mgKOH/g. Porém, de acordo com BARROS (2013), embora o esteja divergindo do especificado, este não altera significativamente o rendimento em ésteres do biodiesel produzido.

O pH foi de 6, 0. Comparando com normatização que regulamenta o pH neutro para o biodiesel, mostra que esse parâmetro do óleo da TC, está de dentro do padrão da norma. Esse pH, proporciona aos motores a vida útil prolongada, não causando desgastes a bomba injetora ou ocasionando corrosão do motor (MIYASHIRO, et al., 2013).

Com relação ao teor de lipídios, os resultados demonstram que a amendoeira (*Terminalia catappa linn*), apresentou um alto rendimento em óleo (56%), resultado aproximado do resultado encontrado por SOUZA et. al., (2015), (53%). Fazendo uma comparação com outras oleaginosas brasileiras, que segundo SILVA (2009), apresentam teores em óleo nas amostras como algodão (20-30%), amendoim (45-50%), gergelim (40-50%), mamona (45-55%) e soja (18-20%), esses resultados, comprovam que a amendoeira tem uma quantidade considerável de óleo em sua amêndoa. Resultados que reforçam a viabilidade econômica em se trabalhar com o óleo da amendoeira, pois, segundo BROOKER et al.,(1992), entre as propriedades que determinam a boa qualidade dos grãos, está o alto teor de óleo. Características encontradas na espécie em estudo.

5.2 Determinação da composição de Ácidos graxos presentes no óleo da amêndoa da *Terminalia catappa lin.(TC)*

Foram identificados e quantificados os ácidos graxos mirístico, palmítico, palmitoléico esteárico, oleico, linoleico, linolênico e araquidônico, sendo que os ácidos graxos majoritários consistem em palmíticos (37,6%) que está presente em maior concentração sendo seguido pelos ácidos oleico (32,4%), linoleico (26,4%,) e esteárico (2,7%). Resultado exposto na tabela 7, em comparação com os resultados encontrados por SOUZA et. al. (2015), para a mesma espécie em estudo.

Tabela 7- Resultados da composição de ácidos graxos do óleo da *Terminalia catappa linn* comparado com os resultados encontrados por Souza et al.,(2015).

AG	Óleo da TC	Óleo da TC
	Resultados experimentais	SOUZA, et al.,(2015).
	% massa	% massa
Saturado		
C20:0 araquidônico	0,5	0,3
C14: 0 Mirístico	0,1	0,07
C16:0 palmítico	37,6	34,2
C18:0 esteárico	2,7	4,2
Monoinsaturado		
C18:1 oleico	32,4	33,8
C16:1 palmitoléico	0,4	--
Poli-insaturado		
C18:2 linoleico	26,4	22,2
C18:3 linolênico	0,1	0,06

Fonte: Autora (2016)

Os ácidos, mirístico, palmítico, esteárico e araquidônico, são ácidos graxos saturados, isto é, sem ligações duplas entre os átomos de carbono, com quatorze a vinte átomos de carbonos. E os demais são insaturados. O ácido oleico (C18: 1) é o mais importante do grupo dos ácidos graxos monoinsaturados. Dos ácidos graxos poli-insaturados, o mais importante da

família é o ácido linoleico (C18:2), encontrado em maior ou menor abundância em óleos vegetais como os de girassol, milho, soja e algodão.

A composição em ácidos graxos está de acordo com a encontrada em estudos publicado por SOUZA, et al.,(2015). O resultado mostrou que esse óleo é rico em ácidos graxo insaturados. Entre os ácidos graxos saturados, tem predominância o ácido palmítico (16:0) e esteárico (18:0), o que pode indicar uma perspectiva de estabilidade oxidativa.

De acordo com a EMBRAPA (2008), quanto menor o número de insaturações (duplas ligações) nas moléculas, maior o número de cetano do combustível, ocasionando uma melhor “qualidade à combustão”. Ainda segundo a EMBRAPA (2008), de uma forma geral, um biodiesel com predominância de ácidos graxos combinados monoinsaturados (oleico, ricinoléico) são os que apresentam os melhores resultados. EMBRAPA (2008),

Além da linha de biocombustível, a amendoeira vem sendo estudada, também para proposito nutricional. E de acordo com os resultados dos trabalhos de SOUZA et al.,(2015), o óleo da amêndoa por se mostra rico em ácidos graxos insaturados, seu consumo pode apresentar diversos efeitos benéficos ao ser humano, desde prevenção até tratamento de doenças cardiovasculares, diabetes, câncer, processos inflamatórios, entre outros, agindo como uma fonte de alimentação funciona. Já TEIXEIRA (2010), sugere que a amêndoa do fruto da *T. Catappa* pode vir a se constituir numa alternativa promissora para auxiliar a suplementação de dietas de populações com baixo poder aquisitivo, amenizando dessa forma, a carência em relação aos nutrientes que fazem parte da composição química dessas espécies. Resultados que reforçam a importância do estudo da potencialidade da amendoeira

5.3 Extrações do óleo

Os processos de extração do óleo da amendoeira envolveram a prensagem mecânica, com utilização de prensa hidráulica e extração por solvente pelo método Soxhlet, utilizando os solventes orgânicos, hexano, etanol e metanol. Segue abaixo, os resultados obtidos, das análises feitas em duplicatas.

5.3.1 Extração mecânica

O processo de extração mecânica usando a prensa hidráulica avaliou o rendimento do óleo em função das pressões aplicadas, por um tempo de 60 min. Foram utilizadas as seguintes pressões: 165,0 kgf/cm², 247,5 kgf/cm², 330,0 kgf/cm², 412,5 kgf/cm², 495,0 kgf/cm². As análises foram realizadas em duplicatas de acordo com a metodologia utilizada por SANTOS (2015). Os resultados podem ser observados, através dos dados expostos na tabela 8. Onde se constata que a quantidade de óleo aumenta com o aumento da pressão, isso acontece até a pressão de 412,5 kgf/cm², onde o aumento da pressão não interfere na quantidade de óleo extraído. Assim, extratores mecânicos podem ser projetados para a pressão onde a extração de óleo é constante.

Tabela 8 - Rendimento da extração mecânica do óleo da amêndoa da *Terminalia catappa* Linn.

Pressão (kgf/cm ²)	Massa de amêndoa utilizada na extração (g)	Massa total de óleo na amostra (g)	Massa total de óleo extraído mecanicamente (g)	% Rendimento	% Perdas retidas na prensa
165,0	100,06	55,72	24,86	44,61	9,58
247,5	100,06	55,72	29,21	52,41	9,79
330,0	100,10	55,75	32,37	58,07	6,73
412,5	100,15	55,77	35,46	63,58	5,75
495,0	100,04	55,71	35,96	64,55	8,41

Fonte: Autora (2016)

O cálculo do rendimento foi feito em relação à massa de óleo extraída na prensagem e o total de óleo da semente obtido utilizando o método Soxhlet, como pode ser observado na equação 6. Pode-se observar que nas pressões onde a extração de óleo está constante (412,5 kgf/cm² e 495,0 kgf/cm²) o rendimento foi de aproximadamente 64%, abaixo do que a literatura indica para este tipo de extração, que seria de 85% (ANDRADE, 2014). No entanto, esse resultado depende do tratamento e do tipo da oleaginosa. O cálculo das perdas foi o resultado da massa da amêndoa, subtraído da massa de óleo extraído e da massa da torta.

$$\eta = \frac{M_e}{M_t} * 100 \quad (6)$$

Onde:

M_e é a massa de óleo extraída.

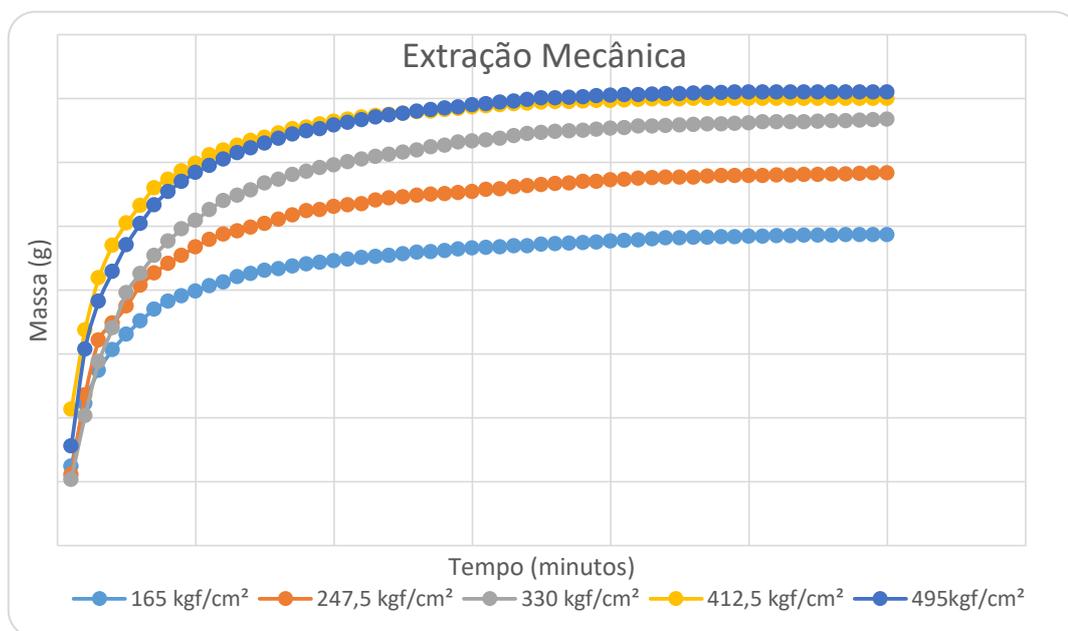
M_t é a massa total de óleo.

O aumento na pressão resultou na elevação do rendimento. A maior força exercida sobre a amostra gerou uma pressão mais elevada sobre as sementes causando uma maior compressão nos glóbulos oleaginosos, levando à maior ruptura nas células, sendo responsável pela melhor extração do óleo de TC. Na pressão de 495 kgf/cm² o rendimento foi bastante superior aos de 165, 247,5 e 330 kgf/cm², obtendo-se o volume de óleo 52 ml de óleo extraído em 100 g de amostra. Porém em comparação à pressão de 412 kgf/cm², esta, apresentou-se apenas levemente superior, pois nesse ponto ocorreu a quebra celular, estabilizando o rendimento do óleo.

Este resultado indica que a pressão de 412 kgf/cm², é suficiente para ruptura da célula, chegando assim, ao limite máximo do rendimento em óleo, o que torna desnecessária uma pressão maior. E com isso, o processo pode ser maximizado, produzindo uma extração com alto rendimento e sem desperdício de energia.

Os valores médios das perdas foram de 8,05%, devido ao óleo que ficou retido no equipamento e no cilindro, e que o tempo predeterminado (60 min) não foi suficiente para que houvesse o arraste desse óleo, mesmo com a aplicação de arraste mecânico, sendo necessário o aperfeiçoamento do equipamento. Avaliando o volume de óleo extraído em função do tempo plotou-se as curvas do gráfico apresentado na Figura 19, com as médias das forças que mostra a massa de óleo obtida por unidade de tempo.

Figura 19 - volume de óleo extraído em função do tempo e da força.



Observa-se que o volume apresentou crescimento acelerado até os primeiros dez minutos, posteriormente, apresentando-se mais lento e crescente. Isso é decorrente de um menor teor de óleo presente na amostra ao decorrer da extração.

A partir dos resultados obtidos verifica-se que a partir da pressão de 412,5kgf/cm² e 495,0 kgf/cm² a massa de óleo da TC extraída se manteve consideravelmente constante, com um rendimento de aproximadamente 65%. A partir desses dados é possível projetar extratores mecânicos que operem nessas condições, assim maximizando a extração.

Sendo assim, a extração mecânica realizada na prensa hidráulica, indicou que a submissão ao tempo e a pressões constantes são imprescindíveis para o melhor rendimento de óleo. Este processo se constitui como uma alternativa para complementação ou mesmo para substituição da extração por solventes, que são oriundos de fontes fósseis e que atualmente são tão debatidos quanto à sobrevivência do planeta.

5.3.2 Extração por solvente

A extração por solvente avaliou rendimento do óleo em função do solvente utilizado em um tempo de 6h, para as cinco amostras das tortas remanescentes da prensagem mecânica, com as respectivas pressões de 165 kgf/cm², 247,5 kgf/cm², e 330 kgf/cm², 412,5 kgf/cm², 495 kgf/cm², pelo o método Soxhlet Padrão. O método também foi feito com a semente in natura, para um tempo de 12h. Com análises feitas em duplicatas, as médias dos resultados, das amostras das tortas, estão representadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Média dos resultados da extração das amostras das tortas da amendoa resultante da extração mecânica.

Pressão (kgf/cm ²)	Rendimento do óleo (%)		
	Etanol	Hexano	Metanol
165	42,73±2,29	41,45±1,88	36,10±0,15
247,5	35,10±0,006	38,31±1,26	29,41±3,78
330	32,07±0,99	35,51±0,85	29,06±1,20
412,5	31,17±1,07	32,34±0,29	28,59±5,80
495	25,80±1,41	25,53±0,47	28,31±0,71

Fonte: Autora (2016)

Pode-se observar, que para a amostra resultante da pressão de 165 kgf/cm², o etanol apresentou melhor resultado em comparação ao metanol. Porém com uma diferença muito pequena em relação ao hexano. Na amostra referente à pressão 247,5 kgf/cm², o hexano se destaca dos demais com um percentual de diferença de cerca de 3% para o etanol de aproximadamente 9% para o metanol. O hexano se destacou também na eficiência das extrações da amostra obtida da pressão de 330 kgf/cm². A eficiência na extração da torta de 412 kgf/cm², foi equivalente para o etanol e hexano, apresentando uma vantagem de aproximadamente 4% para o metanol.

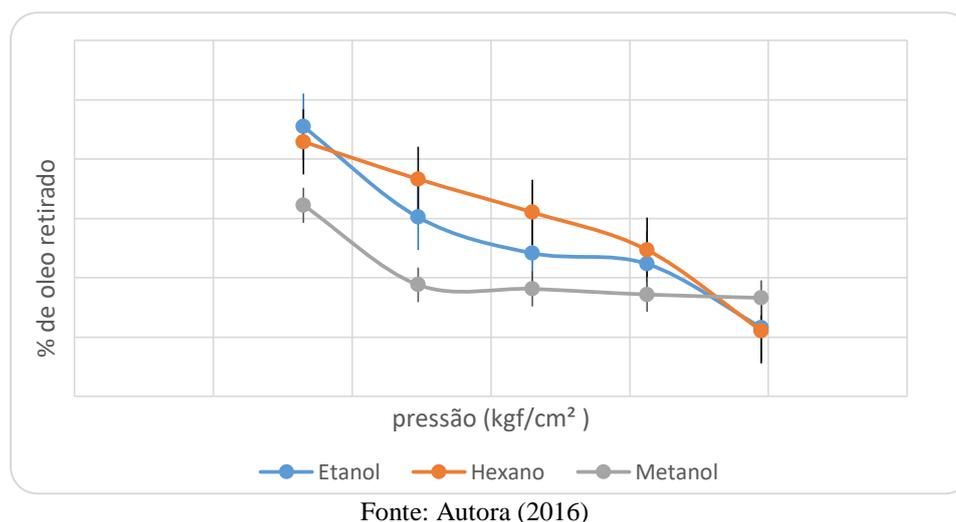
Porém, o etanol, que teve pouca eficiência em relação aos outros dois solventes apresenta melhor resultado na extração da torta de 495 kgf/cm², onde o teor de óleo é menor que as demais pressões. Isso pode ser devido à granulometria da amostra submetida ao metanol que pode ter sido menor em relação às demais amostras, isso pode ter tornado a superfície de contato do metanol maior que os outros dois solventes. Outra hipótese é que esse

resultado $28,31\% \pm 0,71$ para o metanol foi um erro, ocorrido nessa amostra, o que justifica os desvios padrão serem altos para o metanol. Contudo, o Metanol teve um resultado inferior comparado aos do hexano e o etanol. O que pode ser devido a uma menor solubilidade como o óleo da amendoeira.

A equiparação da proximidade na eficiência do hexano e o etanol, é importante na escolha entre os dois solventes, tanto no quesito econômico como no ambiental. Pois, de acordo com SANTOS (2016), o etanol tem um custo menor, é mais facilmente encontrado no mercado, é atóxico e tem operação mais fácil em relação ao hexano. Além disso, o etanol é proveniente de fontes renováveis. Já o hexano é derivado de combustível fósseis.

Avaliando o volume de óleo extraído em função do tempo plotou-se as curvas do gráfico apresentado na Figura 20, com as médias das forças que mostra a massa de óleo obtida por unidade de tempo.

Figura 20 – Rendimento do óleo na extração por solvente das tortas da amêndoa resultante da extração mecânica.



Em relação à amostra da amêndoa *in natura* os resultados comparativos entre os solventes utilizados estão detalhados na Tabela 10. Vale ressaltar que a amêndoa foi triturada em liquidificador de uso doméstico.

Tabela 10 – Rendimento da extração por solvente da amostra *in natura* da amêndoa (TC) com um tempo de 12 horas.

Extração da amostra da amêndoa (TC) <i>in natura</i> por um tempo de 12 horas			
Solventes	Etanol	Hexano	Metanol
	Massa(g)	Massa(g)	Massa(g)
Medias das Análises em duplicata			
Sachê de papel filtro	1,4336	1,3264	1,3232
Amostra $m_{inicial}$	3,2733	3,1215	3,1110
Sachê + amostra ($m_{inicial}$)	4,7069	4,4479	4,4342
Sache + amostra seca (m_{final})	2,9426	2,5969	2,7969
Amostra seca m_{final}	1,4889	1,2704	1,4736
m_{oleo} %	54,485 ± 0,489	59,321 ± 1,798	52,601 ± 2,342

Fonte: Autora (2016)

m_{oleo} = massa de óleo extraída,

$m_{inicial}$ = massa da amostra antes do processo de extração,

m_{final} = massa da amostra após o processo de extração.

Os resultados mostraram que a eficiência do solvente hexano, sobre a semente *in natura*, foi similar ao resultado da extração do óleo da torta, atingido um percentual de aproximadamente 60% de óleo extraído. Que possivelmente se deva a maior solubilidade do óleo da TC ao solvente. O etanol apresentou teores próximos, (54,485% ± 0,489) porem o hexano foi mais eficiente. A extração do óleo da amêndoa *in natura* com o metanol, (52,602% ± 1,798) que apesar de ter atingido um desempenho melhores resultados em relação à extração da torta, ficou abaixo dos resultados para o etanol e hexano, respectivamente 2% e 8%, de extração de óleo a menos. Reforçando a hipótese de menor solubilidade como o óleo da amendoeira.

Diante dos resultados obtidos , o processo de extração por solvente , para a amêndoa da *Terminalia catappa l*, foi satisfatório. Porem, vale ressaltar, que é um método que produz residuos quimico, utiliza energia e gera aquecimento tanto do óleo quanto da torta (CARVALHO,2011).

5.4 Análise técnica da viabilidade econômica do cultivo, em larga escala, da *Terminalia catappa linn*, no rendimento de óleo para fins energéticos.

O resultado demonstrou que a perspectiva de rendimento em produção de óleo por unidade agrícola (t de óleo/ha ano), foi aproximadamente de 0,6 toneladas. E comparado aos rendimentos de outras oleaginosas brasileiras, resultados encontrados por (MOURAD, 2006), essa estimativa demonstra que o cultivo em larga escala da *Terminalia catappa l.* no rendimento de óleo para fins energéticos, é viável economicamente. Resultados exposta na tabela 11.

Tabela 11 – Estimativa da produtividade de óleo/planta/hectare da amendoeira (*Terminalia catappa l.*) em comparação com os resultados encontrados nas principais oleaginosas brasileiras.

Espécie	Teor de óleo (%)	Meses de colheita / ano	Rendimento (t) óleo/ ano
Amendoeira	60	5	0,6
Dendê/ palma	22	12	3-6
Coco	55-60	12	1,3-1,9
Babaçu	66	12	0,1-0,3
Girassol	38-48	3	0,5-1,9
Colza / canola	40-48	3	0,5-0,9
Mamona	45-50	3	0,5-0,9
Amendoim	40-43	3	0,6-0,8
Soja	18	3	0,2-0,4
Algodão	15	3	0,1-0,2

Fonte: Adaptada de MAPA, 2005. Pela autora

Com base na figura 21 é possível se estabelecer a relação entre a área cultivada/área ocupada por uma planta, determinando assim a densidade de plantas por hectares, com isso tem-se, através da equação 7:

$$D = \frac{AC}{A} \quad (7)$$

Onde:

D = Densidade de plantas por ha^{-1} ;

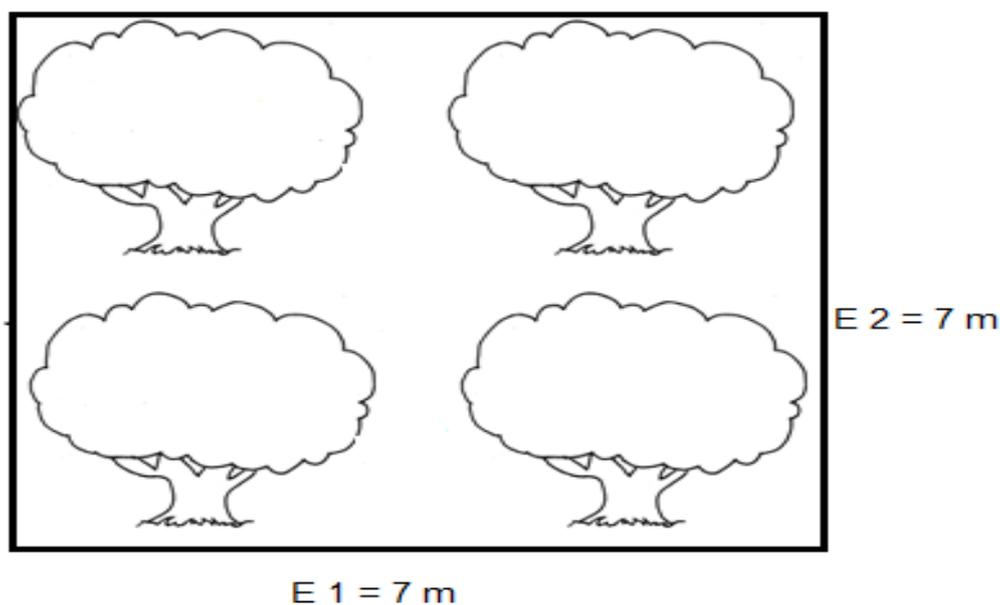
AC = Área cultivada, m^2 ;

A = Área de ocupação de uma planta, m^2 ;

Dessa forma é possível se calcular a quantidade de plantas da espécie em estudo por hectares cultivado, que resultará nos seguintes resultados:

$$D = \frac{AC}{A} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{49 \text{ m}^2} = 204 \text{ plantas por ha}^{-1}$$

Figura 21- Área de ocupação de uma planta em campo



Dados:

$E1$ = Espaçamento entre linhas;

$E2$ = Espaçamento entre plantas;

A = Área de ocupação de uma planta

$$A = E1 \times E2$$

$$A = 7 \times 7$$

$$A = 49 \text{ m}^2$$

Com isso estima-se que em um hectare seja possível à implantação de aproximadamente 204 plantas e baseado em coeficientes técnicos de produção de óleo por planta, estima-se a produtividade de óleo/planta/hectare. Onde a quantidade de semente produzida por cada planta é de aproximadamente 5 kg de semente (planta/ano), e estas sementes tem aproximadamente 60% de teor de óleo. Com isso é possível fazer uma estimativa do rendimento em óleo, por cada árvore e, por conseguinte, por produção de óleo por unidade agrícola (kg de óleo/ha ano). Resultados convertido em toneladas, exposto na tabela 12.

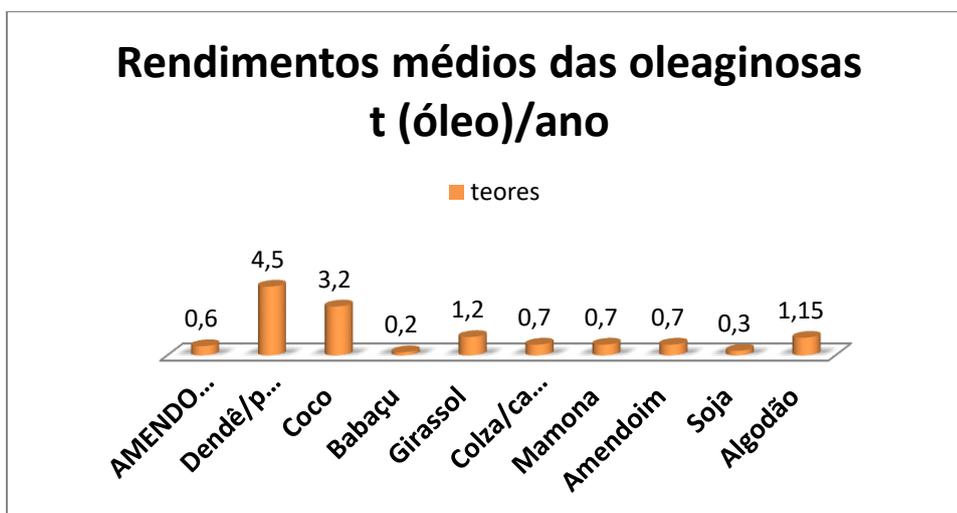
Tabela 12 – Cálculo da produção estimada de óleo por unidade agrícola (kg de óleo/ha/ano) e (t de óleo/ha/ano) da amendoeira (*Terminalia catappa l.*).

Quant. de planta/ ha	Quant.de semente/planta/ano/kg	(Quant. De semente/ha/ano/kg	Teor de óleo (%)	(Kg/óleo/Ano/ha)	Rendimento t/óleo/ ha/ano
204	5	1020	60	612	0,6

Fonte: Autora (2016)

Este rendimento em óleo, da *Terminalia catappa linn*, foram comparados aos teores médios das principais oleaginosas brasileiras. Valores exposto no gráfico representado na Figura 22.

Figura 22 - Rendimento médio das principais oleaginosas brasileira t (óleo)/ha/ano, em comparação com a espécie da amendoeira (*Terminalia catappa l.*).



Fonte: Autora (2016)

Comparando a perspectiva de rendimento de 0,6 t óleo/ha/ano, da *Terminalia catappa l.*, com resultados encontrados na literatura para as principais oleaginosas brasileiras, a espécie está dentro da média. Estes resultados apresenta a amendoeira com um rendimento maior que o da soja, padrão brasileiro na produção de óleos, a qual apresenta um rendimento médio de 0,3t óleo/ha/ano, e próximo aos da canola, mamona e amendoim, ambos apresentam uma média de 0,7t óleo/ha/ano.

Vale ressaltar, ainda, que essa estimativa de rendimento em óleo para a amendoeira (TC), foi baseada em um cultivo sem processo de adubação e irrigação, em áreas degradadas. Além disso, é possível compensar o tempo de frutificação e colheita (aproximadamente três anos após o plantio) com uma forma de cultivo consorciado com outras espécies não perene, como mandioca, feijão entre outras.

De acordo com SUAREZ et al., (2009), a cultura da soja possui uma produtividade muito baixa em lipídeos, demandando enormes quantidades de terra para suprir os mercados de biocombustíveis e de alimento. No entanto, essa cultura corresponde hoje a aproximadamente 72% da produção brasileira de óleos, o que faz com que seja a matéria-

prima preferencial da indústria de biodiesel. Sendo esta, responsável por mais de 82% da produção de biodiesel no Brasil, Seguido da gordura bovina, com 16% (ANP 2014). O que justifica a necessidade de novas culturas oleaginosas que possam complementar esse mercado do biodiesel. A amendoeira (*Terminalia catappa l.*), com sua perspectiva de um bom rendimento em óleo, comprova a viabilidade do seu cultivo, em larga escala, para complementar esse mercado de oleaginosa na produção de biodiesel.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, neste trabalho, podemos concluir:

- ✓ A *Terminalia catappa* apresenta um alto teor de óleo, aproximadamente de 60%, o que indica ser uma fonte promissora na produção do biodiesel;
- ✓ O óleo da amêndoa da TC apresentou resultados físico-químicos satisfatórios para os padrões mínimos de qualidade estabelecidos pela ANVISA/1999, mas divergem das leis estabelecidas, pela ANP/2012, para a produção do biodiesel;
- ✓ Apresentou c considerável teor de ácidos graxos insaturados. Com maior ocorrência dos ácidos graxos oleico e o linoleico;
- ✓ No processo de extração por prensagem obteve um rendimento de 65%. Este processo se constitui como uma alternativa para complementação ou mesmo para substituição da extração por solventes, que é um método que produz resíduos químicos;
- ✓ No processo de extração mecânica a pressão de 412 kgf/cm², é suficiente para ruptura da célula, chegando assim, ao limite máximo do rendimento em óleo, o que torna desnecessária uma pressão maior. E com isso, o processo pode ser maximizado, produzindo uma extração com alto rendimento e sem desperdício de energia;
- ✓ Na extração por solvente, o rendimento foi satisfatório, apresentando o solvente hexano como mais eficiente, em comparação com o etanol e metanol. Porém, vale ressaltar que o etanol é proveniente de fontes renováveis. Já o hexano é derivado de combustíveis fósseis, e esses fatores devem ser ponderados no momento da escolha.
- ✓ A viabilidade no rendimento em óleo, da espécie, apresenta uma boa estimativa (0,6 t/óleo/ano), em comparação com o rendimento das principais oleaginosas brasileiras;
- ✓ Foram identificadas a partir da literatura consultada, as várias aplicações para amendoeira, além do potencial energético, os usos medicinais e alimentar. Mas, ainda é pouco utilizada.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS:

- ✓ Estudo de áreas degradadas para o cultivo em larga escala de espécies *Terminalia catappa linn* e fazer um estudo de germinação, plantio e análise da viabilidade da para utilização integrada das diversas partes da planta na geração de energia. Através de cultivo consorciado com lavouras não perene.
- ✓ Produção e análise da pirolise do endocarpo (caroço) da *TC*.
- ✓ Obtenção e caracterização do biodiesel a partir do óleo da *TC* por rota etílica e metílica.
- ✓ Avaliara a influência da temperatura sobre o processo da extração mecânica;
- ✓ Avaliar o efeito da granulometria no rendimento das extrações.

REFERÊNCIAS

ABREU Y. V.; OLIVEIRA M. A. G.; GUERRA S.M.G. **Energia Sociedade e Meio Ambiente**. 2010. 175p. Eumed. Net, Universidade de Malaga.Espanha.

AG BRAGANTE, **Processo De Extração De Óleos Vegetais**. 2009. Disponível em: <<http://abgtecalim.yolasite.com/resources/Tecnologia%20Extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%93leos.pdf>>. Acesso: 03 Jun. 2016.

ALMEIDA, J. K. P.; et al. **Caracterizações físico-químicas de óleos vegetais utilizados para produção de biodiesel com metodologias alternativas simples**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXI. 2011, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte, MG: ABEPRO 2014.

ALMEIDA, S. C. A. **Technical and economic viability of the use of biodiesel in diesel engines**.2008. Disponível em:< <http://146.164.33.61/silviocarlos/Congressos/TRB2385.pdf>> . Acesso em: 10 Jun. 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 2ª ed. 2005. Disponível em: <<http://goo.gl/KAogT7>> Acesso em: 12 Maio 2015.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 3ª ed. 2008. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas.>>Acesso em: 14 Maio 2015.

ANDRADE B. K. S. A. **Estudo Do Processo Da Extração Do Óleo Do Pinhão Manso**. Maceió, Universidade Federal de Alagoas, 2014.

ANDRADE, M. H. et al. **Óleo do fruto da palmeira macaúba - parte I: uma aplicação potencial para indústrias de alimentos, fármacos e cosméticos**. I Seminário sobre tecnologia na indústria química. São Paulo, 2006.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Gás Natural e Biocombustíveis**. Anuário Estatístico 2012. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_estat.asp>. Acesso em: 17 jul. 2016.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Gás Natural e Biocombustíveis** . *Anuário* estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e combustível: **2014** / - Rio de Janeiro. Disponível em:< <http://www.anp.gov.br/wwwanp/>>. Acesso: 14 mar. 2016.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Gás Natural e Combustível. Informações sobre biodiesel**. 2015. Disponíveis em:<<http://www.anp.gov.br/?id=472>>. Acesso em: 10 out. 2015.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITÁRIA. **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais**, 1999. Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br>> Acesso em: 10 jun. 2016.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D4052. **Standard Test Method for Density and relative density of liquids by digital density meter**, 2011.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D445. **Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids** (and Calculation of Dynamic Viscosity), 2015.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D5558. **Standard Test Method for Determination of the Saponification Value of Fats and Oil**, 2011.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D6304. **Standard Test method for determination of water in petroleum products, lubricating oils, and additives by coulometric Karl Fisher titration**, 2007.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D664. **Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration**, 2011.

BARROS, A.A.C.; WUST, E.; MEIR, H.F. **Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos**. Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v.13,n.3 p.255-262, 2008.

BARROS, E. MEDEIROS, J.F., PEREIRA, N.C. **Análise das propriedades físico-químicas do óleo de soja degomado visando a produção de biodiesel**. VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar. Anais... Paraná. Editora CESUMAR Maringá. 2013.

BARROS, E. V. **A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica**. ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p. 47-56, junho, 2007.

BBR – Biochemistry and. Biotechnology Reports – **Anais do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia** ISSN 2316-5200 Número Especial v. 2, n. 3, p. 301-304, 2013.

BEN BRASIL – MINISTERIO MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional**. Brasília: MME, 1982.

BEN BRASIL – MINISTERIO MINAS E ENERGIA – **Boletim Mensal de Energia, julho 2015**. Secretaria De Planejamento E Desenvolvimento Energético Núcleo De Estudos Estratégicos De Energia. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/2133900/7.1++Boletim+Mensal+de+Energia++Julho+2015++Portugu%C3%AAs+%28PDF%29/210187c9-24de-4af6-a8dc-013cb5fd9430?version=1.0>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

BEVILAQUA, G. **Produção de Biodiesel etílico via catalise heterogenia**. São Paulo. Universidade Estadual de Campinas. 2011.73p.

- BIODIESELBR Online 2008. Disponível em :< <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/brasil/biodiesel-brasil.htm>>. Acesso: 20 jun. 2016.
- BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D.; LILLEY, A. E. V. **Food engineering operations**. Linton Road, England: Elsevier Applied Science, 1990.
- BRISTOTI, A. Material didático. **Curso de Fontes Renováveis e Uso Racional de Energia-FRURE**. Departamento de Termo técnica, Processos e Operações Industriais – UFSM, Santa Maria, capítulos 2, 3, 4 e 6. 1993.
- BROOKER, D.B.; BAAKER-ARKEMA,F.W.;HALL,C.W. **Drying and Storage of Grain and Oilseeds** . New York. USA. 1992. 450p.
- CARVALHO, C.O. **Comparação entre métodos de extração do óleo de *Mauritia flexuosa* L.f.(Arecaceae – buriti) para o uso sustentável na reserva de desenvolvimento tupé: Rendimento atividade antimicrobiana.**, Universidade Estadual do Estado do Amazonas, Amazonas. 2011 61p.
- CAVALCANTE, M.A.; MAIA, G.A.; FIGUEIREDO, R.W.; TEIXEIRA, V.A.M. **Características físicas químicas da Castanhola, *Terminalia catappa* L.** Ciência Agrônômica, Fortaleza, v. 17, n. 1, p. 111-116, 1986.
- CAVALCATE, P.A.W. **Estudo do Processo da Extração do óleo da Semente de Maracujá**. Maceió. Alagoas Universidade Federal de Alagoas. 2013.
- COLLINS, D.J.; PILOTTI, C.A.; WALLIS, F.A.; 1992. **Triterpene acids from some Papua New Guinea *Terminalia* species**. Phytochemistry32 (3), 881-884.
- CORREIA, I.M.S.; **Extração e pirolise do oleo de girassol (*Helianthus annus* L.) visando a produção de biocombustíveis**. Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009. 64p.
- DE PAULA, A. A. **Caracterização físico-química e avaliação do potencial antioxidante dos frutos da *Terminalia catappa* Linn**. Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2008. 91p.
- ECYCLE **Conheça as técnicas de extração de óleos vegetais**, 2012 Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/67-dia-a-dia/3182-como-sao-obtidos-tecnicas-tecnocogias-extracao-onde-comprar-oleos-vegetais-prensagem-solventes-organico-derivados-petroleo-hexano-fluido-super critico-co2-dioxido-carbono-enzimas-impactos-ambientais-danos-degradacao-ecossistema-escolha-consciente.html>>. Acesso: 10 nov. 2015.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Oleaginosas e seus óleos: Vantagens e Desvantagens para Produção de Biodiesel, por Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão e Maria Isaura Pereira de Oliveira**. Campina Grande, 2008. 28p. (Embrapa Algodão. Documentos, 201).

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2011** (2010). Londrina: Embrapa Soja.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia do Alimento**. 2015. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000gc8yujq302wx5ok01dx9lcx1g7v3u.html>. Acesso: 27 maio 2016.

ENIEL, D. C.; MARTINS, F. O.; CARVALHO, J.E.U. **Biometria de sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermédia* Ducke, *Leguminosae-Caesalpinioideae*)**. Revista Brasileira de Botânica. São Paulo, v.4, n.2, p.1-6, 2001.

ESCOBAR, J. C.; LORA, E. S.; VENTURINI, O. J.; YÁÑEZ, E. E.; CASTILLO, E. F.; ALMAZAN, O. **Biofuels: environment, technology and food security**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, p. 1275–1287, 2009.

FERNANDES, J.D.; **Análise técnica e econômica da adubação mineral e orgânica sob o cultivo da mamona e do pinhão manso**. Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2010.195p.

FERREIRA, A. B. de H.; FERREIRA, M. B.; DOS ANJOS, M. **Minidicionário Aurélio da língua portuguesa**. 3 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993.

FRANCIS, 1989; LIN, 1992; THOMSON & EVANS, 2006, apud TEIXEIRA, H.L. **Composição Química E Perfil De Ácidos Graxos Da Castanha Do Fruto Da Castanhola (*Terminalia Catappa* Linn)**. Bahia. Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia 2010. 60p.

FREITAS, J. B. NAVES, M.M. V. **Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde**. Rev. Nutr., Campinas, 23(2):269-279, mar./abr., 2010

FUCHS, W. **Colha óleo vegetal**. Curitiba: ICD/REPAS, 2006. 120 p.

GANDHI, A. P. et al. **Studies on alternative solvents for the extraction of oil soybean**. International Journal of Food Science and Technology, Oxford, v.38 p.369 -375, 2003.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. in: **Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores**. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 8, n. 1, p. 103-112, jan./mar. 2010.

GUNSTONE F.D.; **An Introduction to the Chemistry and Biochemistry of Fatty Acids and their Glycerides**, Chapman & Hall, London (1967) 2.

GUNSTONE, F.D. **Vegetable Oils** In: SHAHIDI, F. (Org.) Bailey's Industrial Oil & Fat Products 6^a ed. v.1, John Wiley & Son, New York, p. 213-268, 2005.

HALL, D. O.; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. **Visão geral de energia e biomassa**. In: rosillo, f.; bajay, s. v.; rothman, h. (Org.). **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: UNICAMP, 2005. Cap. 1, p. 25-67.

HAMMOND, E. G., JOHNSON, L. A., Su, C., WANG, T. & WHITE, P.J.(2005). **Soybean Oil**. In: F. Shahidi (editor), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, (p577-653). New Jersey.

INSTITUTO PLANTARUM. **Amendoeira**. 2005 Página disponível em: <<http://www.plantarum.com.br/amendoeira.html>>. Acesso em 24 jul. 2015.

JORGE N, LUZIA D.M.M. **Caracterização do óleo das sementes de Pachira aquática Aublet para aproveitamento alimentar**. Acta Amaz. 2012 mar;42(1):149-56.

KOJIRO, O. I.; **Produção E Análise De Bio – Óleo Utilizando Oleaginosas Que Possam Contribuir Para O Aumento Da Matriz Energética Renovável Brasileira**. Universidade Federal de Brasília, Distrito Federal.2010. 65p.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. 2006. 1 a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

LIMA, P.C.R. **Biodiesel: Um Novo Combustível para o Brasil**. Brasília-DF. 2005. Disponível em:<http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1141/biodiesel_combustivel_lima.pdf?sequence=3>. Acesso em 20 Abr. 2015.

LIMA, R. M.T. Fruto Da Castanhola (*Terminalia catappa* Linn.): **Compostos Bioativos, Atividade Antioxidante E Aplicação Tecnológica**. Universidade Federal Do Piauí – UFPI. 2012. 106p.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – **Plano Nacional de Agroenergia**, Brasília DF, 2005.

MARTINS, C. R. , LOPES W. A. et al.,In: **Solubilidade Das Substâncias Orgânicas**. Quim. Nova, Vol. 36, No. 8, 1248-1255, 2013. Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Campus Universitário de Ondina, 40170-115 Salvador – BA, Brasil.

MATTEI, L. F. **Programa nacional para produção e uso do biodiesel no brasil (pnpb): trajetória, situação atual e desafios**. 2008, 12p. Universidade Federal de Santa Catarina-ECONOMIA, Florianópolis – SC – BRASIL.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Reader's Digest; São Paulo: Melhoramentos, v.1, 2000.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional 2015: ano base 2014**. Brasília, DF 1982. 105p.

MME – MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA. **Diagnostico sobre a produção de biodiesel no Brasil**, 2006. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_4.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira, Exercícios 2014**. Edição junho de 2015, p. 4. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso: 20 set. 2015.

MIYASHIRO C.S. et al, **Produção De Biodiesel A Partir Da Transesterificação De Óleos Residuais**¹ Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 1, p. 63-76, 2013

MORETTO, E. & FETT, R. **Óleos e gorduras vegetais (processos e análises)**. 2. ed. Florianópolis: Editora de UFSC, 1989

MOURAD, A.L. **Principais Culturas Para Obtenção De Óleos Vegetais Combustíveis No Brasil, Encontro de Energia No Meio Rural**, An. 06 /2006.

NAIK, S. N; MEHER, L.C.; SAGAR, D.V. **Renew. Sust. Energ. Rev.** 10 (2006) 248.

OLIVEIRA, L.C.P. WANDERLEY, M.D. PORTO, A.G.; SILVA, F.S. SILVA, F.T.C.; NEVES, E. **Estudo da extração e avaliação do rendimento de óleo de baru**. Revista Hestia Citino, v.1, n.1, p.16-20. 2011.

OLIVEIRA M. B. F. **Estudo Integrado Da Espécie Palmeira Ouricuri (*Syagrus Coronata* (Martius) Beccari) Para Geração De Energia**. Universidade Federal de Alagoas – Alagoas. 2013. 69P.

OLIVEIRA, T. F. **Comportamento Térmico De Misturas Diesel-Biodiesel**, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ. Rio de Janeiro. 2012. 107P.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, in: **The 2015 Revision of World Population Prospects** /Traduzido & Editado por UNRIC- Centro Regional de Infomações das Nações Unidas. Publicado em 30 de julho de 2015. Disponível em: <<http://www.unric.org/pt/actualidade/31919-onu-projeta-que-populacao-mundial-chegue-aos-85-mil-milhoes-em-2030>>. Acesso: 10 ago. 2016.

OSAKI, M. BATALHA, M.O. In: **Produção De Biodiesel E Óleo Vegetal No Brasil: Realidade E Desafio**. XLVI Congresso de Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. Rio Branco – Acre, anais.. RESR 2008.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003.

PARMENTIER, M.; GUILLEMIN, S.; BARBAR, R.; LINDER, M. FANNI, J. **De nouveaux procédés d'extraction des huiles pour des produits finis de haute qualité. Oleagineux Corps Lipids, Edinbourg**, v. 11, n. 6, p. 377-380, 2004.

PEREIRA, C.de S.S.; **Avaliação de diferentes tecnologias na extração do óleo do pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*)** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.88p.

PEREIRA, F. S. G.; * BRITO NETO, E. X.; WEI, S.; GALVÃO, C. C.; LIMA, V. F.; SILVA, V. L.; LIMA FILHO, N. M. IN: **Produção de Biodiesel Metílico com Óleo**

Purificado de Moringa oleífera Lamarck. Rev. Virtual Quim. 2016, 8 (3), 873-888. Data de publicação na Web: 10 de abril de 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Felix/Downloads/1370-8460-2-PB.pdf. > acesso: 21 ago. 2016.

PETERSON, M. S.; Johnson, A. H. **Encyclopedia of food science**, vol.2.p.100-125, 1978.

PIGHINELLI, A. L. M. T. et al, 2009. **Otimização Da Prensagem De Grãos De Girassol E Sua Caracterização.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.1, p.63–67, 2009 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

PIVETTA, K. F. L.; FILHO, D. F. S.; **Arborização Urbana - Boletim técnico**, UNESP, Jaboticabal, 2002.

POLEDNA, R. C. R. **Como fazer biodiesel de óleo de girassol e de sebo de animal.** 5 p. 2005. Disponível em: < <http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt1257.pdf?>>. Acesso em: 10 set. 2016.

PREDOJEVIC, Z. J. **The production of biodiesel from wast frying oils: A comparasion of different purification steps.** Journal Elseveir Fuel, 87 (2008).

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. **A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino.** Revista Virtual de Química, 2013.

REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. **Óleos e gorduras: aplicações e implicações.** Revista Analytica, n. 27, p. 60-67, Fevereiro/Março de 2007.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; **Ensaio de extração de óleo de girassol (Helianthus annuus L.) com álcool etílico.** 1985. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

REZENDE, J. R. **Desacidificação de óleo de macaúba por extração líquido-líquido, para produção de biodiesel.** Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – BA. 2009.61p.

RITTNER, H. **Óleo de mamona e derivados.** São Paulo: H. Rittner. 1996. 559 p, 1996.

ROCHA, D. D. Q.; et al.; **Terminação Da Matéria-Prima Utilizada Na Produção Do Biodiesel Adicionado Ao Diesel Mineral Através De Monitoramento Seletivo De Íons.** Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas. Manaus – AM, Brasil. Quim. Nova, Vol. 31, No. 5, 1062-1066, 2008.

ROSILLO, F. BAJAY, S. ROTHAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**, 1ª ed. São Paulo: editora da Unicamp, 2005.

SANCHES, J.H. **Potencial invasor do Chapéu do Sol (Terminalia catappa L.) em área de restinga.** Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.88p

SANTOS, J. R. T, **Engenheiro Agrônomo Mestre em Produção Vegetal, responsável técnico, Engecampi Projetos e consultorias agroambientais**, 2016.

SANTOS, L.T.S. **Estudo das Potencialidades do Fruto do Ouricuri**. Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2015. 84p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHRIMPFF, E. **A posição do óleo vegetal: comparado a outros combustíveis de origem biológica**. Alemanha, 2002. Disponível em:<http://www.projetobr.com.br/c/document_library/get_file?folderId=75&name=%C3%93leo+Vegetal+2+-+Prof.+Schrimpff.pdf&download=true.>. Acesso em: 16 jul. 2016.

SILVA, C.L.M.; **Obtenção de ésteres etílicos a partir da transesterificação do óleo de andiroba com etanol**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (2005).

SILVA, C.R.P., **Biomassa Gerada a partir da Terminalia catappa L.(castanheira): Estudo do seu potencial energético**. Universidade Federal de Alagoas. 2012. 54p.

SILVA, I. C. C. **Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. 99p.

SILVA NETO, S. P.; **A evolução da produtividade da soja no Brasil. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, 2011. Disponível em :<<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/335/>>. Acesso: 29 out. 2015.

SINGH, J., BARGALE, P.C. **Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression**. Journal of Food Engineering, v.43, p. 75-82, 2000.

SINGH, K. K., WIESENBORN, D. P., TOSTENSON, K., KANGAS, N. **Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v.79, p.165–170, 2002.

SINGH, M. S., FARSAIE, A., STEWART, L. E., DOUGLASS, L. W. **Development of mathematical models to predict sunflower oil expression**. Transactions of the ASAE, v.27, p.1190-1194, 1984.

SINGH, S. P.; SINGH, D. **Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010, 14, 200.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C.B. **Organic chemistry**. 7 ed. New York: John Wiley Sons, 2000.

SOUZA A.L.G., et al. **Aproveitamento nutricional e tecnológico dos frutos da castanhola**. Rev. Pan-Amazonica em Saúde 2015; 7(3):23-29 Disponível: <<http://scielo.iec.pa.gov.br/pdf/rpas/v7n3/2176-6223-rpas-7-03-00023.pdf>> Acesso: 15 jun. 2016.

SOUZA, Líria Alves De. "**Índice de Cetano**"; *Brasil Escola*. 2016. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/indice-cetano.htm>>. Acesso em 25 set. 2016.

SRIVASTAVA, A; PRASAD, R; **Troglycerides – basead diesel fuels**. Renew. Sust. Energ. Ver, v.4, p.111-133, 2000.

STAP, J. L., **Espaçamento de plantio – conceitos e aplicações**, I Simpósio Sobre Uso M sio Sobre Uso Múltiplo de Eucalyptus, Piracicaba, outubro de 2006.

STREITWIESER, A. HEATHCOCK, C.H. KOSOWER E.M.; **Introduction to Organic Chemistry**, 4a ed., Macmillan, New York (1992).

SUAREZ, P. A. Z. et al **Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los**. Revista Química Nova, Brasília, DF, Vol. 32, No. 3, P.768-775, 2009.

TANDY, D. C. **Oilseed extraction**. In: WAN, P. J. **Introduction to fats and oils technology**. Champaign, Illinois: American il Chemists' Society, 1991.

TEIXEIRA, G.A.A. **Avaliação do Tempo de Vida Útil de Biodiesel Metílico Obtido a partir da Mistura de Sebo Bovino e Óleos de Soja e Babaçu**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Departamento de Química. Programa de Pós – Graduação em Química. Joao Pessoa, 2010.

THOMSON, L.A.J.; EVANS, B. **Terminalia catappa (tropical almond)**, ver. 2.2. In: ELEVITCH, C.R. (Ed.). Species profiles for pacific Island agroforestry: permanent agriculture resources (PAR), 2006.

VARESCHI, V. 1.979. **Plantas entre el mar y latierra**. Caracas- Venezuela. Talleres Gráficos Armitano citado por GONZÁLES-MENDOZA et al., 2006.

WUST, E. **Estudo da Viabilidade Técnico- Científica da Produção de Biodiesel a partir de Resíduos Gordurosos**. Universidade Regional de Blumenau – FURB,SC. 2004. 113p