

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIOENERGIA – MESTRADO

EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE FAVELA (*Cnidocolus quercifolius*) SOB DIFERENTES  
MÉTODOS E SUA POTENCIALIDADE COMO BIOCOMBUSTÍVEL

FABIOLA ALLEIN

TOLEDO  
SETEMBRO /2020

FABIOLA ALLEIN

EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE FAVELA (*Cnidocolus quercifolius*) SOB DIFERENTES  
MÉTODOS E SUA POTENCIALIDADE COMO BIOCOMBUSTÍVEL

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Professora Dra. Maria Luiza Fernandes Rodrigues

Co-orientador: Professor Dr. Edson Antônio da Silva

TOLEDO

SETEMBRO /2020

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Allein, Fabíola  
EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE FAVELA (*Cnidocolus quercifolius*)  
SOB DIFERENTES MÉTODOS E SUA POTENCIALIDADE COMO  
BIOCOMBUSTÍVEL / Fabíola Allein; orientador(a), Maria  
Luiza Fernandes Rodrigues; coorientador(a), Edson Antônio  
da Silva, 2020.  
71 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste  
do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e  
Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia,  
2020.

1. . I. Fernandes Rodrigues, Maria Luiza. II. da Silva,  
Edson Antônio. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por FABÍOLA ALLEIN  
perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Bioenergia em 09 de  
março de 2020

COMISSÃO JULGADORA

Profª Drª Maria Luiza Fernandes Rodrigues  
Orientadora

Prof. Dr. Edson Antonio da Silva  
Coorientador

Profª. Drª. Caroline Ribeiro  
Membro

Profª. Drª. Tatiana Rodrigues da Silva Baumgartner  
Membro

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela força, amor e proteção.

Aos meus pais, Margarete Raitz Allein e Vânio Allein, por me ajudarem na busca da realização dos meus sonhos, por sempre me incentivarem e acreditarem em mim.

A Professora Dra. Maria Luiza Fernandes Rodrigues pela orientação, ajuda e grande disponibilidade para auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Edson Antônio da Silva pela co-orientação e grande contribuição durante a realização do trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e aos Professores do PPGEQ pela contribuição para meu crescimento profissional.

Às minhas amigas Ana Paula Rocha Almeida, Ana Paula Becker, Myllena Noll Manenti, Ana Cristina Chiodelli pela colaboração na realização dos experimentos e pelos momentos de descontração, deixando o trabalho diário mais alegre e fácil.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecimentos à CAPES pelo suporte financeiro. Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1. BIODIESEL .....	14
2.1.1. <b>Matéria-prima para produção de biodiesel</b> .....	14
2.2. CULTURA DA FAVELA ( <i>Cnidoscolus quercifolius</i> ) .....	16
2.2.1. <b>Potencialidades da semente da faveleira</b> .....	18
2.3. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL .....	22
2.3.1. <b>Extração por prensagem mecânica</b> .....	22
2.3.3. <b>Extração pelo método de Goldfish</b> .....	25
2.3.5. <b>Extração com fluido supercrítico</b> .....	25
2.4. ESTADO DA ARTE .....	29
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	31
4.1. MATÉRIA-PRIMA .....	31
4.2. SELEÇÃO DO MATERIAL PARA AS EXTRAÇÕES .....	31
4.3. CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS SEMENTES DE FAVELA .....	31
4.3.1. <b>Determinação do teor de umidade</b> .....	31
4.3.2. <b>Determinação do teor de cinzas</b> .....	32
4.3.3. <b>Determinação do teor de proteínas</b> .....	33
4.3.4. <b>Determinação do teor de lipídeos</b> .....	33
4.4. PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA <i>Cnidoscolus Quercifolius</i> .....	34
4.4.1. <b>Processo de extração mecânica de óleo das sementes de favela</b> .....	34
4.4.2. <b>Extração de óleo das sementes por aparato Goldfish</b> .....	34
4.4.3. <b>Extração com fluido supercrítico (CO<sub>2</sub>)</b> .....	36
4.5. MÉTODOS ANALÍTICOS .....	38
4.5.1. <b>Análise Cromatográfica do óleo de favela</b> .....	38
4.5.2. <b>Análises termogravimétricas do óleo de favela (TGA)</b> .....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA .....	39
5.1.1. <b>Análise granulométrica das partículas</b> .....	39
5.1.2. <b>Composição centesimal da semente de <i>Cnidoscolus quercifolius</i></b> .....	40
5.2. EXTRAÇÃO DE ÓLEO POR APARATO GOLDFISH .....	41
5.3. EXTRAÇÃO DE ÓLEO POR Prensagem Mecânica .....	43
5.4. EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE <i>Cnidoscolus quericifolius</i> COM CO <sub>2</sub> SUPERCRÍTICO .....	45
5.5. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DO ÓLEO DE <i>Cnidoscolus quericifolius</i> .....	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OLEAGINOSAS NO TERRITÓRIO NACIONAL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL.....	15
FIGURA 2 - MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL–2006 A 2015.....	15
FIGURA 3– ÁRVORE DE FAVELEIRA.....	16
FIGURA 4- INFLORESCÊNCIA E ESPINHOS.....	17
FIGURA 5- SEMENTES DE FAVELA.....	18
FIGURA 6- ÓLEO DA SEMENTE DE FAVELA.....	21
FIGURA 7- FLUXOGRAMA DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE FAVELA POR PRENSAGEM MECÂNICA.....	23
FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DA EXTRAÇÃO DE LIPÍDEOS PELO MÉTODO DE GOLDFISH.....	25
FIGURA 9- DIAGRAMA DE FASES DE UM FLUÍDO SUPERCRÍTICO.....	26
FIGURA 10- CURVA DE EXTRAÇÃO DO PROCESSO E SUAS ETAPAS.....	27
FIGURA 11- UNIDADE EXPERIMENTAL PARA EXTRAÇÃO COM CO <sub>2</sub> SC.....	36
FIGURA 12- TUBOS DE EPPENDORF DEPOSITADOS NA ESTUFA.....	37
FIGURA 13– A) SEMENTES DE FAVELA, B) TRITURADOR INDUSTRIAL, C) MASSA DE SEMENTES DE FAVELA PÓS TRITURAÇÃO, D) EQUIPAMENTO DE AGITAÇÃO VERTICAL VIBRATÓRIA UTILIZADO PARA DETERMINAR DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS.....	39
FIGURA 14- APARATO DE GOLDFISH.....	42
FIGURA 15- A) PRENSA MECÂNICA UTILIZADA NO EXPERIMENTO, B) ÓLEO DE FAVELA OBTIDO NO FIM DO PROCESSO.....	43
FIGURA 16- RENDIMENTO EM ÓLEO DE C. QUERIFOLOIUS EM DECORRÊNCIA DO TEMPO DE EXTRAÇÃO.....	44
FIGURA 17- CURVA DE EXTRAÇÃO COM CO <sub>2</sub> -SC. CONDIÇÕES DO ENSAIO: 80°C E 200 BAR.....	45
FIGURA 18– CURVA DE EXTRAÇÃO COM CO <sub>2</sub> -SC+ETOH EM DIFERENTES RAZÕES DE COSSOLVENTE E MASSA, EM DECORRÊNCIA DO TEMPO (MINUTOS). CONDIÇÕES DO ENSAIO: 80°C E 200 BAR.....	46
FIGURA 19 – CURVA DE EXTRAÇÃO COM CO <sub>2</sub> -SC+EtAc EM DIFERENTES RAZÕES DE COSSOLVENTE E MASSA, EM DECORRÊNCIA DO TEMPO (MINUTOS) CONDIÇÕES DO ENSAIO: 80°C E 200 BAR.....	46
FIGURA 20 – CURVAS DE TG E DSC PARA O ÓLEO DE FAVELA OBTIDO COM: A) ETANOL (GOLDFISH); B) HEXANO (GOLDFISH); C) PRENSA MECÂNICA, D) CO <sub>2</sub> -SC+ACETATO (R=1:0,25; 80°C; 200 BAR); E) CO <sub>2</sub> -SC+ACETATO (R=1:0,5; 80°C; 200 BAR); F) CO <sub>2</sub> -SC+ACETATO (R=1:0,75; 80°C; 200 BAR).....	50
FIGURA 21 – CURVAS DE TG E DSC PARA O ÓLEO DE FAVELA OBTIDO COM: G) CO <sub>2</sub> -SC+ETOH (R=1:0,25; 80°C; 200 BAR); H) CO <sub>2</sub> -SC+ETOH (R=1:0,5; 80°C; 200 BAR); I) CO <sub>2</sub> -SC+ETOH (R=1:0,75; 80°C; 200 BAR); J) CO <sub>2</sub> -SC PURO (80°C E 200 BAR).....	51

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA CENTESIMAL DA FARINHA DA FAVELEIRA ( <i>CNIDOSCOLUS QUERCIFOLIUS</i> POHL).....	19
TABELA 2 - PARÂMETROS DAS ANÁLISES DO ÓLEO DA FARINHA DA FAVELEIRA ( <i>CNIDOSCOLUS QUERCIFOLIUS</i> POHL).....	22
TABELA 3- PROPRIEDADES FÍSICAS DE ALGUNS FLUIDOS COMUNS.....	28
TABELA 4- ESTUDOS RECENTES SOBRE ÓLEO DA FAVELEIRA.....	29
TABELA 5 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SOLVENTES EMPREGADOS NA EXTRAÇÃO.....	35
TABELA 6 – CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS REALIZADAS NA EXTRAÇÃO COM CO <sub>2</sub> SUPERCRÍTICO, UTILIZANDO-SE ETANOL E ACETATO DE ETILA COMO CO-SOLVENTE, 80°C E 200 BAR.....	37
TABELA 7– COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS SEMENTES DE FAVELEIRA (g 100g <sup>-1</sup> ).....	40
TABELA 8–RESULTADOS DE EVENTOS TÉRMICOS EM ÓLEOS VEGETAIS.....	52
TABELA 9– ESTUDOS DO PARÂMETRO ESTABILIDADE TÉRMICA EM ÓLEOS VEGETAIS REALIZADOS E RESPECTIVOS AUTORES.....	53
TABELA 10– CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS EM % NO ÓLEO DE FAVELA ( <i>CNIDOSCOLUS QUERCIFOLIUS</i> ) DE ACORDO COM O MÉTODO DE EXTRAÇÃO EMPREGADO NA OBTENÇÃO DO ÓLEO.....	55
TABELA 11– CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS EM % NO ÓLEO DE FAVELA ( <i>CNIDOSCOLUS QUERCIFOLIUS</i> ) DE ACORDO COM O MÉTODO DE EXTRAÇÃO EMPREGADO NA OBTENÇÃO DO ÓLEO.....	55
TABELA 12 – TOCOFERÓIS E FITOESTERÓIS PRESENTE NO ÓLEO DE FAVELA ( <i>CNIDOSCOLUS QUERCIFOLIUS</i> ) DE ACORDO COM O MÉTODO DE EXTRAÇÃO EMPREGADO NA OBTENÇÃO DO ÓLEO.....	57

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

CO<sub>2</sub>-SC - Dióxido de carbono em estado supercrítico

EtOH - Etanol

EtAc – Acetato de etila

TG - Termogravimétrica

DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial

R - Relação mássica de co-solvente e farelo

*m*<sub>1</sub> - Massa do recipiente e da amostra antes da secagem

*m*<sub>2</sub> - Massa do recipiente e da amostra depois da secagem

CER - Taxa de extração constante

*M*Óleo - Massa de óleo obtido na extração

*M*Amostra: - Massa da amostra de farelo utilizada

bar – Unidade de pressão

°C – graus Celsius

T<sub>c</sub> – Temperatura crítica

P<sub>c</sub> – Pressão crítica

g – Gramas

V - Volume

P - Pressão

M<sub>filt</sub> – Massa filtrada

M<sub>alim</sub> – Massa alimentada

# EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE FAVELA (*Cnidoscolus quercifolius*) SOB DIFERENTES MÉTODOS E SUA POTENCIALIDADE COMO BIOCOMBUSTÍVEL

## RESUMO

A favela (*Cnidoscolus quercifolius*) é uma planta nativa da Caatinga Brasileira, com significativo potencial econômico e ambiental. Destaca-se por ser uma planta altamente resistente a seca e de alto teor nutricional, apresentando diversas aplicações, como em rações animais (cabras, bovinos e ovinos), medicinais, e na produção de biocombustíveis. Embora a favela tenha sementes ricas em óleo, sendo considerada uma alternativa potencial para a produção de óleo comestível, pouca informação é encontrada na literatura sobre sua extração e caracterização. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo estudar os métodos de extração do óleo de favela para aplicações futuras na síntese do biodiesel. Para o estudo da extração do óleo de favela (*Cnidoscolus quercifolius*) foram utilizados métodos distintos, como a extração clássica por prensagem mecânica e métodos não clássicos, como a extração com aparato de Goldfish (extrator de lipídios contínuo) e com fluido supercrítico (CO<sub>2</sub>) puro, com a adição de co-solvente etanol e acetato de etila no processo de extração. O método de extração, no qual obteve-se um maior rendimento de óleo foi o extrator de lipídios por Goldfish. Nesta extração e com o solvente etanol, obteve-se um rendimento maior (40,17%) comparado aos outros métodos de extração. Com relação à composição de ácidos graxos e estabilidade térmica, não houve diferença significativa quanto ao método e solvente empregado. Em relação a composição de ácidos graxos no óleo da favela, predominou o linoleico (C18:2 n6) com média de 43,33%, seguido do oléico (C18:1 n9) com média de 21,34% para todas as amostras analisadas. As análises de Termogravimetria (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) mostraram que as amostras possuíam elevada estabilidade térmica, os quais degradaram com temperatura superior a 350°C em média. O teor de tocoferóis e fitoesteróis foi mais elevado para o óleo extraído pela prensa mecânica, em relação à média dos compostos obtidos na extração clássica; o  $\beta$ -tocoferol foi o composto predominante (209,90 mg 100 g<sup>-1</sup>), seguido do  $\beta$ -sitoesterol (160,9 mg 100g<sup>-1</sup>);  $\gamma$ -tocoferol (43,02 mg 100g<sup>-1</sup>) e  $\delta$ -tocoferol (31,47 mg 100g<sup>-1</sup>); respectivamente. Em geral, a *Cnidoscolus quercifolius* se mostrou uma interessante opção de matéria prima para a produção de biodiesel.

**Palavras-chave:** matéria-prima vegetal, biocombustível, fonte renovável de energia.

## EXTRACTION OF FAVELA OIL (*Cnidocolus quercifolius*) UNDER DIFFERENT METHODS AND THEIR POTENTIALITY AS A BIOFUEL

### ABSTRACT

The favela (*Cnidocolus quercifolius*) is a plant native to the Brazilian Caatinga, with significant economic and environmental potential. It stands out for being a plant highly resistant to drought and with high nutritional content, presenting several applications, such as in animal feed (goats, cattle and sheep), medicinal, and in the production of biofuels. Although the favela has seeds rich in oil, being considered a potential alternative for the production of edible oil, little information is found in the literature about its extraction and characterization. In this context, this study aimed to study the methods of extracting favela oil for future applications in the synthesis of biodiesel. For the study of the extraction of favela oil (*Cnidocolus quercifolius*) different methods were used, such as classic extraction by mechanical pressing and non-classical methods, such as extraction with Goldfish apparatus (continuous lipid extractor) and with supercritical fluid (CO<sub>2</sub>) pure, with the addition of co-solvent ethanol and ethyl acetate in the extraction process. The extraction method, in which a higher oil yield was obtained, was the lipid extractor by Goldfish. In this extraction and with the ethanol solvent, a higher yield (40.17%) was obtained compared to the other extraction methods. Regarding the composition of fatty acids and thermal stability, there was no significant difference as to the method and solvent used. Regarding the composition of fatty acids in oil from the favela, linoleic (C18: 2 n6) predominated with an average of 43.33%, followed by oleic (C18: 1 n9) with an average of 21.34% for all analyzed samples. The analyzes of Thermogravimetry (TG) and Differential Exploratory Calorimetry (DSC) showed that the samples had high thermal stability, which degraded at temperatures above 350°C on average. The content of tocopherols and phytosterols was higher for the oil extracted by the mechanical press, in relation to the average of the compounds obtained in the classic extraction;  $\beta$ -tocopherol was the predominant compound (209.90 mg 100 g<sup>-1</sup>), followed by  $\beta$ -sitoesterol (160.9 mg 100g<sup>-1</sup>);  $\gamma$ -tocopherol (43.02 mg 100g<sup>-1</sup>) and  $\delta$ -tocopherol (31.47 mg 100g<sup>-1</sup>); respectively. In general, *Cnidocolus quericifolius* proved to be an interesting raw material option for the production of biodiesel.

**Keywords:** vegetable raw material, biofuel, renewable energy sour.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano e industrial ocorre de forma desenfreada, acarretando no aumento da frota de veículos no país. Diante dessa situação existe uma demanda crescente por novas fontes de combustíveis para suprir a necessidade. Em 2018 54,7% na matriz energética brasileira foram de energia não renovável (gás natural, petróleo e derivados e carvão), contribuindo com a emissão de gases poluentes que contribuem com o aquecimento global (BEM – EPE, 2019).

A produção brasileira de biodiesel alavancou em 2018, devido a chegada do B10 (Diesel comercializado no Brasil deve conter 10% de biodiesel), notando sua melhor marca de desempenho em toda a história. A fabricação total das usinas brasileiras foi de 5,35 bilhões de litros (ANP, 2019).

O uso de óleo vegetal para a produção de biocombustível se caracteriza como uma alternativa às fontes não renováveis, complementando a matriz energética, minimizando a dependência de combustíveis fósseis e a emissão de gases poluentes na atmosfera e podendo gerar mais empregos na cadeia produtiva dos combustíveis provenientes de matéria vegetal.

O Brasil apresenta uma grande potencialidade para abertura energética alternativa ao diesel a partir de biocombustíveis, devido a ampla diversidade de culturas oleaginosas cultivadas em diferentes regiões do país, acarretando alta produtividade pela porcentagem de óleo que pode ser extraído das sementes, como exemplo: soja, mamona, dendê, pupunha, algodão (BELTRÃO, 2013).

Atualmente 67% do biodiesel brasileiro é proveniente da cultura da soja, sendo necessário investir em pesquisas com outras oleaginosas para minimizar a dependência ou monopolização de uma da sojicultura (HIRAKURI; LAZZAROTTO; ÁVILA, 2010).

A cultura da favela (*Cnidocolus quercifolius*), planta típica da região nordeste do Brasil, pode ser uma matéria-prima interessante para o mercado de biocombustível, a mesma possui uma alta concentração de óleo nas sementes, não compete diretamente com a indústria alimentícia como no caso da soja e ainda, seu cultivo pode ser uma fonte de renda para as famílias da caatinga, ocasionando também o desenvolvimento social e econômico (COSTA; OLIVEIRA, 2006).

Os óleos vegetais são considerados gorduras extraídas das plantas, principalmente das sementes. Atualmente, existe uma gama de tecnologias que podem auxiliar no processo de extração do óleo, como a clássica, utilizando a prensa mecânica, com investimento financeiro menor e as extrações não clássicas (extração com solvente orgânico, extração com fluido

supercrítico e até extração com a utilização de enzimas, dispondo de um custo mais elevado (RAMALHO & SUAREZ, 2013)).

Considerando que, os estudos científicos sobre essa cultura são escassos na literatura, no presente trabalho foram estudados três métodos de extração, envolvendo três tipos de solvente, analisando a viabilidade dos métodos e as características físico químicas desse óleo, com possíveis aplicações futuras na síntese de biodiesel.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. BIODIESEL**

A resolução da ANP nº 42 de 24/11/2014, define o biodiesel como renovável e biodegradável, composto por alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa providos de gorduras animais ou óleos vegetais, que possa substituir totalmente ou parcialmente o óleo diesel de origem fóssil (FERRARI, 2005). A Lei Nacional número 11.097 de 13 de janeiro de 2005, classifica biodiesel como de natureza biodegradável, combustível alternativo, podendo ser agregado na substituição total ou parcial do diesel de petróleo (VÊRAS, et al., 2012).

O biodiesel é produzido a partir de fontes renováveis, como gorduras animais e óleos vegetais, sendo uma alternativa para motores a diesel (KNOTHE, 2008). O biodiesel é um biocombustível, atóxico, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos a partir da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente (PARENTE, 2003).

O biodiesel vem ganhando espaço para uso como combustível substituto ao diesel em todo o mundo, uma vez que é uma opção ambientalmente correta, além de melhorar o desempenho do motor diesel (LUQUE & MELERO, 2012).

No Brasil a mistura de biodiesel com diesel fóssil teve início em dezembro de 2004. Em janeiro de 2008 passou ser obrigatória a mistura de 2% do biodiesel, em janeiro de 2010 o percentual da mistura passou a ser de 5%. Já em agosto de 2019, com a Resolução da ANP nº 798, de 01/08/2019, exige o percentual mínimo de biodiesel a ser acrescido ao óleo diesel, comercializado no país de 10% para 11% (ANP, 2019).

#### **2.1.1. Matéria-prima para produção de biodiesel**

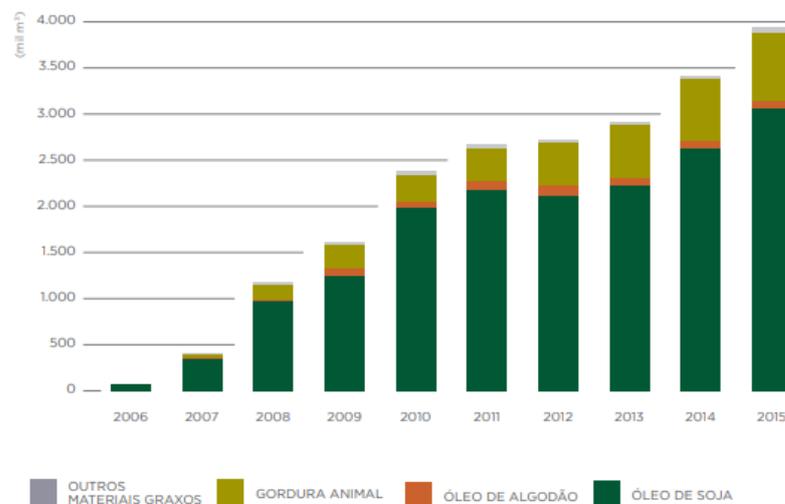
O Brasil possui uma grande diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel e dentre as fontes de produção de biodiesel, os óleos vegetais têm sido uma alternativa viável. As opções de fontes de matéria-prima para produção dos combustíveis renováveis são bem diversificadas. Podemos citar como exemplos os óleos vegetais, óleos usados, gorduras de animais, gorduras residuais e microalgas. Diante de toda diversidade é necessário levar em consideração as características da regionalização como escala periódica sazonalidade e porcentagem de óleo na planta (CANDEIA, 2008).

Podemos observar na Figura 1, que cada região tem diferentes culturas para produção de biodiesel.



**Figura 1.** Oleaginosas no Território Nacional para Produção de Biodiesel. **Fonte:** Associação Brasileira das indústrias de Óleos Vegetais, 2018.

Mesmo com as diversidades de oleaginosa em todo território nacional, na Figura 2 é possível notar que o óleo de soja é o principal para a produção de biodiesel.



**Figura 2.** Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil – 2006 a 2015. **Fonte:** ANP (2016).

A justificativa para a soja ser a principal matéria-prima na produção de biodiesel é em virtude do menor custo, pois o óleo de soja é produzido a partir do subproduto da produção do farelo de soja para exportação, tornando-se um dos líderes mundiais no mercado de óleos vegetais, além do mais, o Brasil possui clima adequado e desenvolve tecnologia de ponta para a produção de soja (SALLET, 2011).

## 2.2. CULTURA DA FAVELA (*Cnidoscolus quercifolius*)

A planta é pertencente à família Euphorbiaceae, pode atingir até cinco metros de altura, prospera em terrenos inóspitos (CANDEIA, 2005) e é nativa da região nordeste do Brasil, constituindo o bioma da Caatinga, compreendido por aproximadamente 734.478 km<sup>2</sup>. A principal característica desse bioma se dá pela presença de arbustos e árvores de porte baixo, como exemplo, a espécie da favela (Figura 3).



**Figura 03.** Árvore de favela. Fonte: Embrapa, 2006.

A cultura faz parte das diversas espécies presentes nesse bioma, geograficamente está distribuída nos estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe, Piauí, Ceará, Paraíba, Alagoas e Bahia (EMBRAPA, 2006).

Nativa da região do Nordeste, essa forrageira apresenta espinhos, presença de pelos urticantes, tronco ramificado, cilíndrico e possui casca fina. As folhas são alternadas simples, membranáceas e nas extremidades pequenos espinhos. Os pelos urticantes têm aproximadamente um centímetro de comprimento, glabras em ambos os lados da folha, brilhantes e de 8-16 cm de comprimento (Figura 4) (OLIVEIRA et al., 2008).



**Figura 04.** Inflorescência e espinhos. Fonte: Embrapa, 2006.

Possui inflorescência em cimeira axilar, flores de cor branca unissexuais, o fruto da planta se caracteriza por cápsula, deiscente, coberta por pelos urticantes, contendo três sementes (ALOUFA & MEDEIROS, 2016).

Uma das principais características da *Cnidoscolus quercifolius* se dá pela resistência à seca, planta rústica e de rápido crescimento, dessa forma, pode ser destinada ao reflorestamento de áreas que foram degradadas (NÓBREGA et al., 2011).

O período de florescimento da cultura da faveleira ocorre a partir do mês de janeiro, já a formação dos frutos acontece entre fevereiro e março. A planta pode ser propagada por sementes ou via estacas (estruturas vegetativas da faveleira) (ALOUFA & MEDEIROS, 2016).

A semente é lisa, possui testa dura e o albúmen concentra óleo comestível, sendo difícil a realização do manejo da cultura, pois apresenta espinhos na sua composição, dificultando assim a exploração da planta. Entretanto, são encontrados exemplares inermes em populações nativas de faveleira (MOREIRA *et al.*, 1974), esse caráter é governado por um ou poucos genes recessivos (CAVALCANTI et al., 2011).

O sistema radicular da faveleira se caracteriza por raízes tuberculadas com presença de líquido viscoso de oxalato de cálcio, carbonatos, açúcares, fosfatos, amido e água. As raízes não atingem grandes profundidades, tornando a absorção de água de poucas chuvas mais fácil, por este motivo é considerada uma alternativa para reflorestamento de forma sustentável do semiárido (LORENZI, 1998).

A espécie vegetal se classifica como uma xerófila, possuindo diversos mecanismos de forma natural, facilitando a adaptação no solo nordestino mesmo em períodos prolongados de estiagem, os pelos protegem os estômatos contra o excesso de perda de água na planta, o caule e o sistema radicular possuem capacidade de armazenar reservas alimentícias para a faveleira, sendo encontrada principalmente no bioma da caatinga (EMBRAPA, 2014).

A caatinga ainda possui pouco aproveitamento econômico perante toda sua biodiversidade, esse bioma se caracteriza como um dos menos conhecidos pela ciência e também menos protegido ambientalmente. O processo de desertificação acaba ofuscando riquezas da natureza que teriam potencial para ascensão do desenvolvimento econômico e sustentável na região (ALOUFA & MEDEIROS, 2016).

Com tantas características peculiares da cultura da faveleira, a mesma pode ser considerada uma matéria-prima vegetal interessante para cultivo do produtor rural, devido aos vários usos da planta e todas as adaptações às condições adversas do bioma da caatinga. Em campo com uma densidade populacional em torno de 1500 plantas/hectare, a planta chega a produzir aproximadamente 3,5 kg de semente durante o seu ciclo reprodutivo (RIBEIRO, et al., 2016).

A favela apresenta várias potencialidades a serem exploradas, para alimentação animal, para fins medicinais e até como possível matéria-prima para produção de biocombustíveis devido ao alto teor de óleo nas sementes.

### 2.2.1. Potencialidades da semente da faveleira

A favela possui elevado teor de nutrientes na sua composição, conseqüentemente agregando valor industrial, as sementes são de coloração amarronzada e aspecto rajado (Figura 03), semelhante às da mamona (*Ricinus communis*) sendo ainda pouco aproveitadas (RIBEIRO, et al., 2016).



**Figura 5-** Sementes de favela. Fonte: A autora.

Segundo estudos de Cardoso et al. (2019) o coproduto (torta) proveniente da extração por prensagem a frio das sementes de favela, apresenta um alto teor de proteínas, lipídios e cinzas, sendo semelhante ou superior a outras proteínas, como por exemplo, o trigo e o centeio (Tabela 01).

**Tabela 01.** Composição química centesimal da farinha da faveleira (*Cnidoscolus quercifolius* POHL).

<b>Constituinte</b>	<b>Média (%)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Umidade (%)	3,49	± 0,00
Cinzas (%)	4,56	± 0,00
Lipídeos (%)	28,48	± 2,65
Proteínas (%)	22,79	± 2,40

Fonte: (Cardoso et al., 2019)

A cultura da favela apresenta diversos usos, desde alimentação humana e dieta animal até como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel, a seguir serão apresentadas algumas aplicações das sementes de faveleira.

#### *2.2.1.1. Caracterização da semente como fonte de alimentação animal*

A cultura apresenta potencial como forrageira de extrema importância na caatinga, visto que estudos realizados pelo Centro de Pesquisas Agropecuária Trópico Semiárido e do Instituto de Pesquisa Agropecuária (IPA) constataram que a espécie vegetal apresenta 18,5% de proteína bruta, 2,1% de cálcio e 23,3% de amido, sendo uma forragem de fácil digestão e rica em nutrientes.

No período da seca na região Nordeste do Brasil, a faveleira é muito consumida pelos animais, que se alimentam das folhas maduras da árvore quando caem no chão no fim do período das chuvas. As sementes são consumidas por ovinos, caprinos, galinhas e animais silvestres (CAMPOS, 2010).

As variedades da espécie vegetal que possuem espinhos apresentam conteúdo lipídico de 40,56% em suas amêndoas e teor de proteínas de 33% já as variedades sem espinhos contêm aproximadamente 40,21% de lipídios e valor proteico de 35,77% (DRUMOND; SALVIANO & CAVALCANTI, 2007). Sendo assim uma cultura promissora como alternativa à soja, milho por exemplo, a ser explorada no âmbito de combustíveis verdes.

Segundo estudos realizados pelo IRPAA (2011) Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada o óleo presente nas sementes é comestível, de alto valor nutritivo e saboroso, apresentando cerca de 46% de proteínas, ao passo que o óleo de oliva tem apenas

14%. Ainda apresenta 70% em média de ácidos não saturados, sendo assim, óleo com boas características nutricionais, especialmente por possuir ácido linoleico na sua composição.

#### *2.2.1.2. Óleos vegetais como fonte de biocombustível*

Os óleos e gorduras são classificados como substâncias hidrofóbicas, ou seja, insolúveis em água, formados principalmente pelo processo de condensação do glicerol e dos ácidos graxos, comumente conhecidos como triglicerídeos ou triacilglicerídeos (SILVA, 2018).

Os óleos de origem vegetal tem na sua composição de uma até quatro insaturações na cadeia carbônica, estando na forma líquida à condição de temperatura ambiente.

A estrutura química de um óleo se caracteriza por influenciar diretamente a sua estabilidade térmica, sendo que os óleos que possuem uma concentração maior de ácidos graxos saturados apresentam uma estabilidade maior quando comparados com os insaturados. A suscetibilidade à oxidação está relacionada com o teor de ácido linoléico na composição do óleo vegetal. O óleo de favela tem um alto teor de ácido linoléico, necessitando de um antioxidante na sua composição para assegurar sua estabilidade ao processo de oxidação (MASUCHI et al., 2008).

O Brasil possui um ecossistema bem diversificado, incluindo diversas fontes potenciais de plantas oleaginosas que podem ser utilizadas como matérias-primas na produção de biocombustíveis (RODRIGUES, 2009).

Com o intuito de apoiar e impulsionar a utilização de óleos de origem vegetal na produção de biocombustíveis, principalmente por produtores da agricultura familiar, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), auxiliando no processo de inclusão dos pequenos agricultores, gerando renda e desenvolvimento social, além de contribuir com o meio ambiente, minimizando a emissão de gases poluentes na atmosfera, decorrentes de combustíveis de origem fóssil. Esse programa incentiva a substituição parcial do diesel pelo biodiesel (MONTEIRO, 2007).

A discussão atual sobre a produção de biodiesel no Brasil está voltada as fontes vegetais oleaginosas, tendo o objetivo de gerar renda e emprego, principalmente incluindo regiões, como por exemplo, o semiárido, região onde a cultura da favela consegue se adaptar e produzir frutos, promovendo o desenvolvimento social e econômico das regiões que compõem o bioma da caatinga (EMBRAPA, 2007).

Sendo assim, existe a importância de estudar as características físico químicas do óleo da faveleira, pois os estudos científicos com objetivo e foco na produção de combustível renovável a partir do óleo dessa cultura são escassos.

O óleo da favela (Figura 6) apresenta coloração amarelada, ideal para ser utilizado como óleo de mesa, as propriedades físico-químicas apresentam baixo nível de acidez e de peróxido, o percentual aproximado de matéria graxa está em torno de 40%, podendo ser extraído e favorecendo assim, o processo de industrialização das sementes.



**Figura 6.** Óleo da semente de favela. Fonte: A autora.

O óleo caracteriza-se por ser uma substância lipídica sintetizada pelas espécies vegetais e armazenada em uma quantidade maior nas sementes. Junto com os carboidratos, assume a função de fornecimento de energia necessária para o processo de germinação e nutrição da planta jovem no seu ciclo inicial (CAVALCANTI, 2011).

As sementes de favela (*C. quercifolius*) apresentam alto teor de óleo, principalmente óleo linoléico, em torno de 50% a 90% (ácidos graxos insaturados), tornando-a uma potencial fonte de matéria-prima sustentável no processo de produção de biodiesel, pois utiliza uma espécie nativa na cadeia produtiva (NÓBREGA, 2001).

Segundo estudo de Santos et al. (2007), o óleo proveniente da semente de faveleira apresenta parâmetros adequados para obtenção de biodiesel (Tabela 02).

**Tabela 02.** Parâmetros das análises do óleo da farinha da faveleira (*Cnidoscolus quercifolius* POHL).

Constituinte	Média
Umidade (%)	0,39
Cinzas (%)	0,67
Densidade (g cm <sup>3</sup> )	0,87
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	255,76

Fonte: Santos et al., (2007).

As pesquisas em relação ao uso do óleo de faveleira como matéria-prima para produção de biocombustível ainda são escassas, por isso se dá a importância de estudar os possíveis métodos de extração e as características do óleo da mesma, podendo ser uma potencialidade econômica para ser explorada e dessa forma atrair investidores para esse uso da cultura da faveleira, movimentando a economia, podendo gerar renda e emprego, principalmente à população do sertão Nordestino, local nativo da espécie vegetal.

Diante de uma gama de formas disponíveis de obtenção do óleo, no próximo capítulo serão abordados os principais métodos de extração empregados na obtenção de óleo vegetal em sementes.

### 2.3. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL

Os óleos vegetais (lipídios) são extraídos de componentes das plantas, principalmente das sementes. Sua extração é possível devido sua característica química, pois são insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos. As tecnologias empregadas para extração são diversas como: prensagem mecânica, uso de solvente orgânico, aparato extrator de gorduras (Goldfish), e uso de fluido supercrítico.

#### 2.3.1. Extração por prensagem mecânica

A extração mecânica é o método mais antigo para obtenção de óleo vegetal. Os indícios das primeiras prensas com alavanca datam na Primeira Guerra Mundial, as quais eram utilizadas

para obter azeite de oliva. Com o passar dos anos, foram substituídas pelas prensas de parafuso, chegando até as mais modernas (contínuas e hidráulicas) (WOERFEL, 2006).

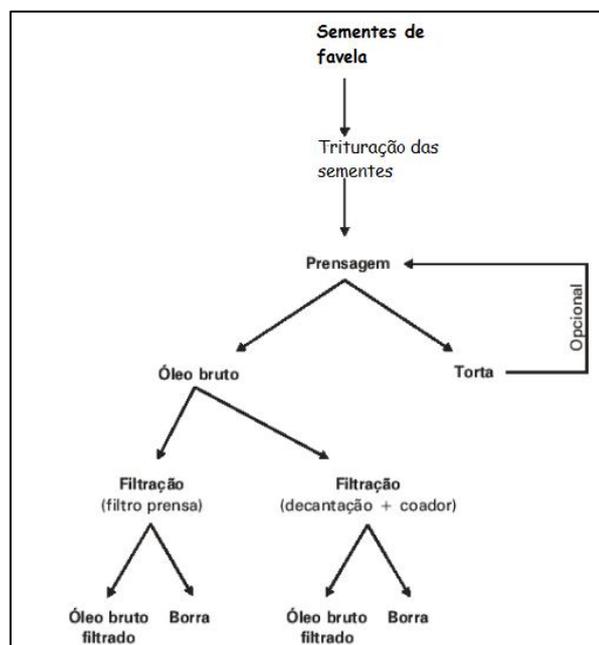
A extração mecânica é recomendada para grãos que apresentam alto teor de óleo na sua composição, como exemplo: grãos de algodão, coco seco, canola e girassol.

Na parede celular das oleaginosas se encontram os glóbulos, onde está contido o óleo e outros constituintes. A massa de grãos é alimentada de forma contínua na prensa, sob uma pressão alta (4 até 35 Mpa), dessa forma ocorre um rompimento na parede celular, os glóbulos que contem óleo escapam, ficando a massa de sólidos comprimida que é descartada ao final do segmento (SINGH & BARGALE, 2000).

A extração por prensagem é um processo utilizado com frequência para atender a produção de óleo em pequena escala, principalmente para suprir demandas locais de cooperativas ou pequenos produtores. O óleo obtido por prensagem é bruto, ou seja, pode ser escuro e apresentar alguns sedimentos, de acordo com a matéria prima empregada no processo de extração (STORCH et al., 2008).

Sob o ponto de vista ambiental, esse método acarreta menor impacto na natureza, pois não utiliza e não origina resíduos tóxicos.

A Figura 7 apresenta o fluxograma de extração mecânica de óleo de favela utilizando uma miniprensa.



**Figura 7.** Fluxograma de extração de óleo de sementes de favela por prensagem mecânica. Fonte: A autora.

### 2.3.2. Extração com Solventes orgânicos

O método de extração de óleo de vegetais utilizando solventes orgânicos, foi adotado por ser considerado uma opção mais eficiente quando comparada a extração mecânica. Uma das vantagens apresentadas pela utilização dos solventes nesse processo se dá pelo baixíssimo teor de óleo contido na torta (resíduo da extração) menos de 1%, ou seja, fazendo um desengorduramento completo do grão (OETTERER, REGITANO & SPOTO, 2006).

O processo de separação de compostos presentes em grãos de espécies vegetais ocorre devido a transferência dos mesmos de uma fase para outra (sólido-líquido, líquido-líquido), dentro de um processo industrial. Devido a diferença entre a interação intermolecular na fase líquida, a extração por meio de solvente é amplamente utilizada na indústria alimentícia (WUST, 2004).

Basicamente, o método é dividido em duas partes, a primeira ocorre de forma mais rápida, chamada de dissolução, já a segunda parte é mais demorada, depende da difusão mistura do óleo e dos solventes por meio da parede celular semipermeável e da velocidade da extração, que inicia de forma rápida e decresce com o decorrer do desengorduramento da semente (MORETTO & FETTI, 1998).

No processo de extração de óleo com solvente orgânico, as sementes são trituradas para facilitar a entrada do solvente nas mesmas, pelo fato de apresentar semelhanças em relação as características químicas do óleo, que é apolar, tendo assim afinidade com o solvente empregado e tornando possível a extração.

Para ser empregado no processo de extração, um solvente deve apresentar determinadas características para se obter eficiência no processo, dentre elas (BOCKISCH, 2006):

- Ser inerte quimicamente, evitando reações indesejadas e resguardando equipamentos;
- Possuir baixa viscosidade e tensão de superfície (garantindo boa percolação e umedecimento superficial);
- Ter alta solubilidade no óleo á baixas temperaturas;
- Ser imiscível em água, que deve ser removida com facilidade;
- Ser removido com facilidade do óleo e do farelo, com demanda energética baixa;
- Ser pouco poluente;
- Apresentar baixo ponto de ebulição e calor de evaporação.

### 2.3.3. Extração pelo método de Goldfish

O método de extração de óleo vegetal por aparato Goldfish, se caracteriza por um processo contínuo, o qual se obtém a fração lipídica presente na matéria prima a ser utilizada no sistema. Esse processo é realizado com amostras sólidas e utiliza-se solventes a quente, com o refluxo do solvente para extração do óleo (ZENEON, PASCUET & TIGLIA, 2008) (Figura 8).

Basicamente, o método de Goldfish começa pela pesagem do material sólido, o qual vai ser extraído os lipídios utilizando um solvente, podendo ser polar ou apolar. Após a extração ter sido realizada, deixa o solvente evaporar e dessa forma faz a pesagem do material lipídico para realizar o cálculo do teor % de lipídios nesse material.

Uma das principais vantagens é que o processo utiliza uma quantidade menor de solvente e é mais rápido, pois como é contínuo, a amostra tem contato direto e permanente com o solvente. Porém uma desvantagem é em relação a temperatura alta que pode levar a degradação da gordura (LOURENÇO. 2019).

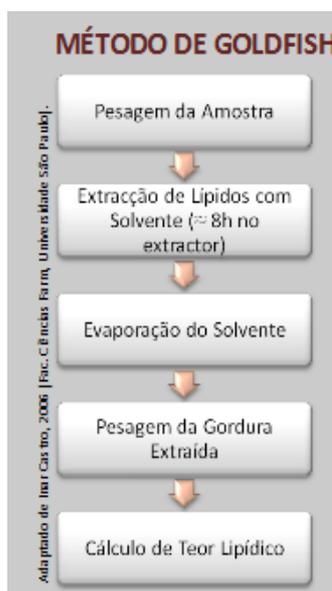
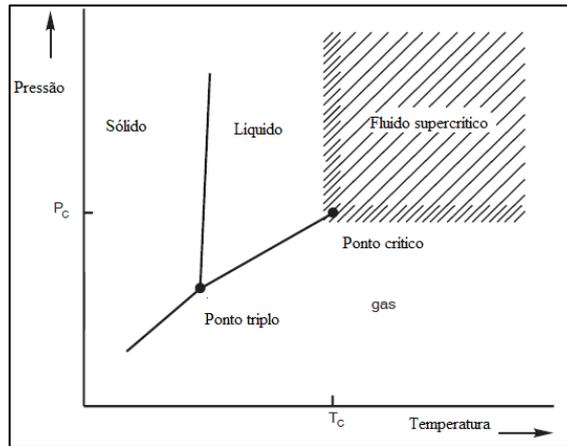


Figura 8. Fluxograma da extração de lipídeos pelo método de Goldfish.

### 2.3.5. Extração com fluido supercrítico

A extração por meio de fluido supercrítico se caracteriza por um método alternativo aos métodos tradicionais de separação, o estudo e emprego desses fluidos tem aumentado nos últimos anos, principalmente pelo alto poder de dissolução no processo (RIERA et al., 2004).

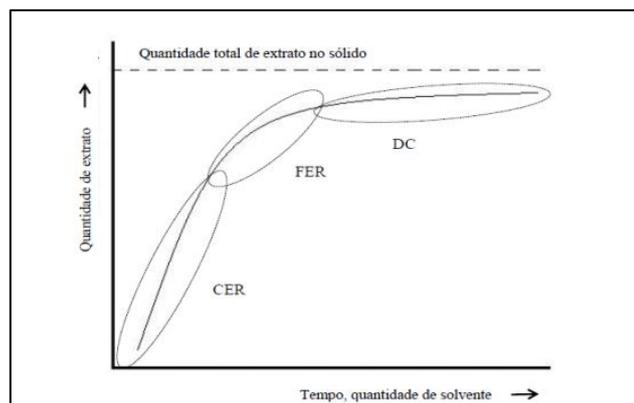
Um fluido supercrítico (SF-"Supercritical Fluid") é definido como sendo formado acima do ponto crítico, da temperatura crítica ( $T_c$ ) e pressão crítica ( $P_c$ ), o que pode ser visualizado em um diagrama de fases (Figura 9).



**Figura 9.** Diagrama de fases de um fluido supercrítico. Fonte: Adaptado de RIERA et al., (2004).

A fase sólida no sistema se concentra na região de maior pressão e menor temperatura, ao contrário da fase gasosa. Já a fase líquida surge entremeio a esses pontos, a partir do ponto triplo, as linhas que separam os estados físicos são definidas de acordo com a descontinuidade de determinadas características físicas, como por exemplo a densidade, o coeficiente da compressibilidade e a viscosidade. Para maioria das substâncias, a fase gasosa em relação a fase líquida apresenta densidade de  $10^2$  a  $10^3$  vezes menor; a compressibilidade de  $10^4$  a  $10^5$  vezes maior e a viscosidade de 10 a  $10^2$  vezes maior, facilitando sua penetração nos poros sólidos (CAMPOS et al., 2005).

As curvas globais de extração (OEC: Overall extraction curves) (Figura 10), apresentam características bem definidas, como por exemplo, possuem três momentos de extração, no primeiro período a faixa de extração é constante (CER), o sistema é controlado por transporte convectivo, no segundo período a taxa de extração decrescente e ocorre o transporte difuso juntamente com o convectivo, já o último período é controlado por difusão dentro das partículas no estado sólido do substrato (KITZBERGER et al., 2009).



**Figura 10.** Curva de extração do processo e suas etapas. Fonte: KITZBERGER et al., (2009).

A extração com fluido supercrítico (SFE - "Supercritical Fluid Extraction") é uma técnica de extração que vem sendo empregada, principalmente pela preocupação da comunidade científica em relação à saúde e bem-estar dos seres humanos. O método de extração por fluido supercrítico apresenta determinadas vantagens, por exemplo, a obtenção de um produto final (óleo) com compostos termos sensíveis, sem alterar as propriedades dos demais compostos presentes no óleo, como a maioria dos solventes são gasosos à pressão e temperatura ambiente, logo são evaporados do extrato (SERRA et al., 2010).

Outra vantagem desse tipo de extração é que os solventes podem ter suas propriedades alteradas, ajustando a pressão e temperatura apropriada e ainda podendo fazer a adição de um co-solvente, mudando assim a polaridade dos gases. Além do mais, os extratos não sofrem oxidação, esterificação, hidrólise, alterações térmicas ou caramelização. O produto final desse tipo de extração, pode ser mais claro, sem sedimentos da matéria prima, quando comparado com o método de extração pela prensa mecânica.

O solvente mais empregado na extração supercrítica é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$  supercrítico), por apresentar pressão e temperatura crítica baixas: 73,8 bar e 31°C, por essas características há uma facilidade para realizar a operação e ainda mantendo as propriedades organolépticas e físicas dos extratos utilizados no sistema, sendo ainda uma substância de baixo custo e toxicidade, assim como alta grau de pureza dos produtos obtidos (MEIRELES *et al.*, 2009).

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) supercrítico, apresenta algumas características que proporcionam eficiência e ótima qualidade de extração, como por exemplo: baixa viscosidade, densidade próxima à de um líquido e se difunde como um gás.

O  $\text{CO}_2$  é um gás inerte, não apresenta riscos de ocorrer oxidações, reduções, degradações químicas, hidrólises. Não é inflamável, é seguro, não poluente e não é tóxico. A polaridade do

CO<sub>2</sub> é semelhante à do hexano e do pentano, solventes apolares usados com frequência em extrações tradicionais com auxílio de solvente (MAUL, 2000).

As propriedades do CO<sub>2</sub> proporcionam uma flexibilidade e ainda permitem adequação das condições de extração para as necessidades específicas dos produtos que serão extraídos e também ao produto final desejado (óleo).

Além da ótima relação de custo e eficiência da utilização do CO<sub>2</sub> no processo de extração por fluido supercrítico, podem ser adicionadas certas quantidades de produtos, como exemplo água e etanol, com a finalidade de adequar condições de extração para um processo específico (MAUL et al., 1996).

Atualmente há diversos outros gases que apresentam propriedades críticas de determinados solventes no estado supercrítico (Tabela 3), porém não são comumente utilizados por razões de: perigo de explosão, alto custo, toxicidade elevada e ainda propriedades físicas adversas, consequentemente são raramente utilizados em escala comercial.

**Tabela 03.** Propriedades físicas de alguns fluidos comuns.

<b>Fluído</b>	<b>Temperatura crítica (°C)</b>	<b>Pressão crítica (bar)</b>
Nitrogênio	-147	33,93
Metano	-82,49	46,40
Etileno	9,21	50,31
Dióxido de carbono	31,04	73,80
Etano	32,25	48,83
Óxido nitroso	36,45	72,54
Hexafluoreto de enxofre	45,56	37,60
Metanol	79,90	240,20
Propileno	91,60	46,10
Propano	96,85	42,55
Frigen 12	111,70	39,40
Amônia	132,40	112,99
Dióxido de enxofre	157,50	79,84
Pentano	196,60	33,30
Hexano	243,20	29,60
Água	374,70	226,80

Fonte: Maul, (2000).

Quando se trata da utilização da extração com fluido supercrítico, ela pode ser empregada em larga escala, como exemplo: indústrias farmacêuticas, cosméticas e de perfumaria, extraíndo óleo essencial de plantas aromáticas, pode ser utilizado também na indústria alimentícia, para extração, obtenção e refino de óleos comestíveis, e ainda pode ser empregado na indústria química, como exemplo separação de metais do resíduo do petróleo (NASCIMENTO, 2017).

Existe ainda a possibilidade de adicionar certos produtos que atuam como co-solventes no sistema de extração de óleo com fluido supercrítico, minimizando o tempo de extração e aumentando a eficiência do processo (SIMÕES et al., 1999).

## 2.4. ESTADO DA ARTE

Considerando a vasta gama de potencialidades dessa planta, como matéria-prima na alimentação humana e animal e devido ao alto teor de óleo, podendo ser uma potencialidade na produção de biocombustíveis, se faz importante realizar pesquisas sobre os métodos de extração existentes e suas vantagens perante a faveleira como matéria-prima, com isso, o presente trabalho teve como objetivo principal analisar o método de extração mais eficiente e conseqüentemente a composição do produto final, se existe ou não alteração das características físico-químicas, mudando o método de extração.

Na literatura existem poucos estudos nesse âmbito com a semente de faveleira (*Cnidoscolus*), podendo ser observado na Tabela 4, frente a isso, esse trabalho vem para complementar os estudos científicos existentes.

Tabela 4. Estudos recentes sobre óleo da faveleira.

<b>Título do Trabalho</b>	<b>Autor/ano</b>
Composição química da semente da faveleira ( <i>Cnidoscolus phyllacanthus</i> ) em diferentes períodos sazonais	Medeiros, et al., 2018.
Chemical composition, antioxidant activity and thermal analysis of oil extracted from faveleira ( <i>Cnidoscolus quercifolius</i> ) seeds	Santos et al., 2017.
Caracterização físico-químicas do óleo da semente da faveleira ( <i>Cnidoscolus quercifolius</i> ) e avaliação das propriedades bioativas da semente, do óleo e da torta.	Ribeiro, 2016.

Fonte: A autora.

### 3. OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo agregar conhecimento científico sobre a cultura da favela (*Cnidoscolus quercifolius*) e verificar a sua potencialidade como matéria-prima para a produção de biodiesel, estudando os diferentes os diferentes métodos de extração (físico e químico) do óleo vegetal, analisando as características quantitativas e qualitativas do produto final.

#### Objetivos Específicos

- Extrair o óleo das sementes de favela, utilizando os métodos de extração mecânica, com o uso de solventes orgânicos, pelo método de Goldfish;
- Analisar o rendimento dos processos de extração utilizando solvente convencional e solvente alternativo;
- Determinar o potencial de ácidos graxos nas sementes de favela (*Cnidoscolus quercifolius*) cultivadas no Nordeste;
- Caracterizar o óleo das sementes de favela quanto suas propriedades físico químicas;
- Analisar a estabilidade oxidativa do óleo extraído da favela por diferentes métodos;
- Estudar o comportamento térmico do óleo de favela.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no Centro de Engenharia e Ciências Exatas – Campus Toledo se utilizando dos Laboratórios de Microbiologia e Laboratório de Processos de Separação.

### 4.1. MATÉRIA-PRIMA

As sementes de favela (*Cnidocolus quercifolius*), uma variedade sem espinho, foram secas naturalmente, totalizando 2 kg, provenientes do município de Juazeiro-BA, Brasil. Para conservação do material, as sementes foram armazenadas em sacos plásticos de polietileno e mantidas em freezer à temperatura de - 5 °C até o dia das análises.

### 4.2. SELEÇÃO DO MATERIAL PARA AS EXTRAÇÕES

As sementes foram trituradas em liquidificador doméstico e sua granulometria classificada utilizando um conjunto de série de peneiras Tyler (Bertel Industrial Metalurgia LTDA (série Tyler 16-48 Mesh), com agitação vertical vibratória durante 30 minutos. Foram selecionados para serem empregados nas extrações, os materiais que ficaram retidos nas peneiras de 20-28 Mesh, 19% de 28-32 Mesh e 22% de 32-48 Mesh (SANTOS et al., 2017).

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS SEMENTES DE FAVELA

As sementes de *Cnidocolus* foram caracterizadas quanto: ao teor de umidade, teor de cinzas, teor de lipídios e teor de proteínas, de acordo com os métodos AOAC (2005). As determinações foram realizadas em triplicata sendo expressas pela média e desvio padrão.

#### 4.3.1. Determinação do teor de umidade

O método utilizado para determinação de umidade da massa de sementes de favela foi o AOAC (2005). No primeiro instante foram pesadas amostras de 2 g em triplicata, sendo depositadas nos cadinhos e colocadas na estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Após 3 horas as amostras de semente de favela foram retiradas da estufa e passadas pelo processo de resfriamento no dessecador, após atingirem a temperatura ambiente, foram pesadas,

o procedimento foi repetido a cada 1 hora até a massa permanecer constante. O cálculo do teor de umidade e matéria volátil foi determinado pela Equação (1).

$$\text{Teor de umidade e matéria volátil (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo:

$m_0$ : Massa do recipiente (g)

$m_1$ : Massa do recipiente e da amostra antes da secagem (g)

$m_2$ : Massa do recipiente e da amostra depois da secagem (g)

#### 4.3.2. Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas, também chamado de resíduo por incineração está relacionado a obtenção de um resíduo por um superaquecimento de determinado produto, empregando-se temperatura entre 550-570°C. Pelo aquecimento, alguns compostos podem sofrer redução ou serem perdidos por volatilização, muitas vezes não representando o total das substâncias inorgânicas na amostra.

No presente trabalho, a metodologia utilizada para determinação quantitativa das cinzas totais foi o AOAC (2005). Para isso, foram pesados 2 g do material das sementes de favela, utilizando três cadinhos de porcelana, previamente pesados.

Após a distribuição das amostras de forma uniforme, as mesmas foram submetidas a mufla, incineradas na temperatura de 600°C durante o período de 4 horas. Posterior a essa etapa, foram calculadas as percentagens de cinzas em relação ao pó (produto final da incineração) do processo de secagem. O teor de cinzas na amostra foi determinado pela Equação (2).

$$W = \frac{(g_2 - g_1)}{E} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

W = teor de cinzas (%)

$g_2$  = massa do cadinho contendo as cinzas (g)

$g_1$  = massa do cadinho vazio (g) E = massa da amostra (g)

### 4.3.3. Determinação do teor de proteínas

A determinação de proteínas na amostra foi determinada pelo método de Kjeldahl, sendo determinada a matéria nitrogenada total de uma amostra. No processo de Kjeldahl ocorre o deslocamento do nitrogênio presente na amostra, transformando-o em sal amoniacal (sulfato de amônio, por meio de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Foi utilizado o fator de 6,25 para conversão de nitrogênio total em proteína (AOAC, 2005).

Após essa etapa, o amônio é deslocado recebendo a solução ácida (ácido bórico) e por meio da titulação determina-se a quantidade de nitrogênio que lhe deu origem. A porcentagem de proteínas na amostra foi definida pela Equação (3).

$$\text{Proteína (\%)} = \frac{K \times V \times \text{Fator}}{P} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

$$K = Fc \times 0,0014 \times 100$$

Fc = fator de correção da solução de ácido sulfúrico 0,1N

P = massa da amostra em gramas

V = volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação

Fator = fator de conversão do nitrogênio em proteína (6,25)

Fator = fator de conversão de nitrogênio para proteína (varia conforme o alimento)

### 4.3.4. Determinação do teor de lipídeos

Para a determinação do teor de lipídios da amostra com sementes de favela, foi utilizada a extração em aparato Soxhlet, empregando-se 2 g de amostra em triplicata e utilizando éter de petróleo como solvente (AOAC, 2005).

A quantificação total dos lipídios nas amostras empregadas nas análises foi determinada a partir de alíquotas de 3 mL cada de extrato no método de Soxhlet (1879).

O solvente foi evaporado em estufa a 105°C durante 40 minutos, após o resfriamento em um dessecador por 60 minutos, pesou-se as amostras (recipiente com óleo), repetindo-se as operações de aquecimento e resfriamento, até peso constante.

#### 4.4. PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA *Cnidocolus Quercifolius*

Foram estudados os seguintes métodos: processo de extração mecânica, processo de extração por solventes com aparato Goldfish, extração com fluido supercrítico CO<sub>2</sub> e extração supercrítica com CO<sub>2</sub> utilizando-se etanol e acetato de etila como cossolventes.

##### 4.4.1. Processo de extração mecânica de óleo das sementes de favela

Para a realização da extração mecânica do óleo de favela foram utilizadas sementes da variedade sem espinhos, provenientes da safra 2018/2019 do município de Juazeiro – BA. As sementes foram previamente trituradas e a prensagem foi realizada em uma célula extratora feita de aço, da marca Tecnal modelo TE-098 (Figura 10), com capacidade de processamento de 10 toneladas de material, sendo devidamente depositados 50 g das sementes de favela moídas, sendo que o processo foi realizado em triplicata, durante um período que não foi observado mais escoamento do óleo (PIGHNELLI, 2008).

Após a prensagem, o óleo foi deixado em repouso durante cinco dias para decantação dos resíduos e para posterior filtração em papel de filtro. Ao final do processo foi possível obter o rendimento do processo de extração pela relação entre a massa de sementes que entrou no processo e a massa de óleo obtido após o processo de filtração pela Equação (4).

$$\text{Rem (\%)} = \frac{m_{\text{filt}}}{m_{\text{alim}}} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

Rem(%): Rendimento da extração mecânica

m<sub>filt</sub>: Massa de óleo obtida após a filtração

m<sub>alim</sub>: Massa total das sementes da alimentação do processo.

##### 4.4.2. Extração de óleo das sementes por aparato Goldfish

A extração foi realizada com o extrator de gorduras – Goldfish no Laboratório de Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Toledo/PR.

Nesse método de extração as amostras estão sempre em contato com o solvente, havendo sua constante renovação, a temperatura do sistema mantém-se relativamente alta, visto

que o calor aplicado para o processo de evaporação é constante, possibilita a extração de uma quantidade maior de óleo em relação a outros métodos, sem a necessidade de filtração da micela após o término da extração, pois a amostra esteve envolta no cartucho durante todo o procedimento.

Os solventes empregados foram: hexano P.A e o álcool etílico P.A. (pureza 99,5%) para extração do óleo das sementes da faveleira.

A Tabela 5 apresenta as propriedades físico-químicas dos solventes empregados na extração do óleo das sementes da faveleira.

Tabela 5. Propriedades físico-químicas dos solventes empregados na extração.

Propriedades	Hexano	Álcool etílico
Fórmula química	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Densidade Relativa (g/mL)	0,66	0,789
Ponto de ebulição	63-69°C	77-79°C
Pressão de vapor	130 mm Hg	40 mm Hg

Fonte: SOLOMONS & FRILE (2005).

Neste tipo de extração o solvente fica em contato com a amostra, por um período de 3 horas. Foi empregado a razão de 1:10 massa/volume (10 g de amostra seca para 100 mL). O início da extração foi contabilizado a partir do início da fervura do solvente, após aquecimento contínuo a 100°C durante 90 minutos e, em seguida, ocorreu a suspensão reboiler e gotejamento do solvente a 130°C durante 1 hora, por fim a recuperação do solvente foi realizada durante 30 minutos com o fechamento da válvula. Após a extração, os extratos foram secos em estufa a 60 °C até evaporação total do solvente restante, foram armazenados em fracos âmbar e mantidos sob refrigeração.

Os rendimentos das extrações feitas no extrator de gordura Goldfish foram calculados Equação (5), a partir da razão entre a massa do extrato e a massa inicial da matéria-prima utilizada.

$$R(\%) = \frac{m \text{ extrato}}{m \text{ da amostra}} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

$R(\%)$  = Rendimento global de extração;

$m \text{ extrato}$  = Massa de extrato obtida após o processo de extração;

$m \text{ da amostra}$  = Massa de amostra utilizada no processo de extr

#### 4.4.3. Extração com fluido supercrítico (CO<sub>2</sub>)

Para o experimento de extração empregando-se o CO<sub>2</sub>-SC (supercrítico), CO<sub>2</sub>SC+EtOH e CO<sub>2</sub>+EtAc, foi utilizado um extrator de alta pressão (Figura 10). A composição da unidade experimental era de um extrator cilíndrico de volume interno com  $7,98 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , comprimento de 0,16 m e diâmetro interno de  $2,52 \times 10^{-2} \text{ m}$ . O extrator empregado no experimento teve a temperatura controlada por um banho termostático (Quimis, modelo Q214S2), e a pressão por uma bomba seringa de alta pressão (TELEDYNE ISCO, modelo 500D), a qual foi mantida a 10°C por outro banho termostático (Spencer).



**Figura 11.** Unidade experimental para extração com CO<sub>2</sub>-SC. Fonte: A autora.

Nas extrações foram utilizados CO<sub>2</sub> (White Martins S.A., 99,5% de pureza), etanol (Neon, 99,8% de pureza) e acetato de etila. Tanto o etanol como o acetato foram empregados nos experimentos como co-solventes.

Num primeiro momento, foi pesada a quantidade máxima de massa da semente de favela (34 g) que coubesse no cilindro/leito para posterior extração do óleo. A temperatura e pressão para o processo de extração foram constantes, 80°C na saída da bomba e 200 bar, respectivamente, foram adotados esses valores já partindo de uma condição ideal para extração do óleo desse tipo de matéria prima, conforme resultados de (JUCHEN, 2019).

As relações mássicas de co-solvente e farelo (R) avaliadas foram: 0 g de etanol para 34 g de farelo (R=0:1), 8,5 g de etanol para 34 g de farelo (R =0,25:1), 17 g de etanol para 34 g de farelo (R =0,5:1), 25,5 g de etanol para 34 g de farelo (R =0,75:1). Para o acetato de etila como co-solvente foram utilizadas as mesmas proporções mássicas do etanol, como demonstrado na Tabela 6.

Posteriormente, o CO<sub>2</sub> foi adicionado no extrator na pressão e temperatura desejada, iniciando o período de extração estática, após esse processo, iniciou-se a extração dinâmica. Ocorreu a injeção de CO<sub>2</sub> no extrator, com um fluxo de 2 mL min<sup>-1</sup> e em tempos pré-definidos, as amostras foram coletadas na saída do extrator e acometidas em tubos de 10 mL. Após a coleta do óleo, os tubos de eppendorf foram levados à estufa de circulação (Nova Ética, modelo 400) à temperatura de 70°C por 24 horas para garantir a evaporação do acetato de etila e do etanol nas amostras (Figura 12).



**Figura 12.** Tubos de eppendorf depositados na estufa. Fonte: A autora.

Foram avaliadas a influência do co-solvente e a relação mássica com o mesmo no tempo de extração e a porcentagem de extração do óleo da favela, apresentadas na Tabela 6, para todas as extrações o tempo total da extração estática foi de 30 min, sendo determinado em testes preliminares.

Tabela 6 – Condições experimentais realizadas na extração com CO<sub>2</sub> supercrítico, utilizando-se etanol e acetato de etila como co-solvente, 80°C e 200 bar.

Experimento	Co-solvente	R (g co-solvente: g farelo)
1	Etanol	0,25:1
2	Etanol	0,50:1
3	Etanol	0,75:1
4	Acetato de etila	0,25:1
5	Acetato de etila	0,50:1
6	Acetato de etila	0,75:1

Fonte: A autora.

O fim do processo de extração foi determinado quando praticamente todo o óleo havia sido extraído, ou seja, quando as quantidades do rendimento alterado entre os pontos consecutivos de coleta eram inferiores a 1%. O rendimento final do óleo extraído foi obtido pela Equação (6).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{M_{\text{Óleo}}}{M_{\text{Amostra}}} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

Sendo:

*MÓleo*: Massa de óleo obtido na extração (g)

*MAmostra*: Massa da amostra de farelo utilizada (g)

## 4.5. MÉTODOS ANALÍTICOS

### 4.5.1. Análise Cromatográfica do óleo de favela

As análises foram realizadas em Cromatógrafo Gasoso com detector de espectrômetro de Massas (Shimadzu, GCMS-QP2010 SE), na Universidade Estadual de Maringá *campus* de Umuarama – PR, equipado com injetor automático (AOC-20i) utilizando a coluna capilares ZB-Wax (Zebron<sup>TM</sup>, 30 m ´ 0,25 mm ´ 0,25 µm). O gás Hélio (White Martins, pureza > 99%) foi utilizado como gás de arraste a uma vazão de 1,0 mL min<sup>-1</sup>, com razão de Split de 1:40 e o volume de injeção foi de 2 µL. O injetor e a interface do CG-MS foram mantidas a 250 °C. Os espectros de massa foram registados a 70 eV com intervalo de *m/z* 50 a 550. A identificação dos compostos foi realizada a partir do banco de dados das bibliotecas NIST14.lb e NIST14.lbs.

A temperatura do forno da coluna foi programada para iniciar à 80 °C e aquecer para 180 °C a uma taxa de 10 °C min<sup>-1</sup>, seguido para 240 °C a uma taxa de 4 °C min<sup>-1</sup>, sendo mantida nesta temperatura durante 2 minutos.

### 4.5.2. Análises termogravimétricas do óleo de favela (TGA)

As análises termogravimétricas (TG-DTA), pelo método não isotérmico, foram realizadas usando o equipamento DTG-60/DTATG (Shimadzu, Japão). Foram utilizadas as condições: aquecimento de 10 °C a 500 °C, com um fluxo de ar sintético de 50 mL min<sup>-1</sup>, volume inicial cerca de 10 µL, com massa de aproximadamente 5 mg e razão de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, em cadinho de alumina. Visando controlar a ebulição do óleo essencial, foi preparado um suporte de alfa alumina. Os resultados foram tratados usando o software TA 60WS, da Shimadzu.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

#### 5.1.1. Análise granulométrica das partículas

Após o processo no triturador industrial, foi realizada a análise granulométrica para definir o diâmetro das partículas da semente de favela para serem empregadas nos métodos de extração. O tamanho das partículas foi classificado por peneiras (malha 16-48 da malha de Tyler). O material utilizado nos experimentos consistiu em 59, 19 e 22% da massa retida nas peneiras 20-28, 28-32 e 32-48, respectivamente (Figura 13).

A maior quantidade de massa ficou retida na peneira de 24 (malha de Tyler), ou seja, partículas entre 0,6 mm e 0,425 mm de diâmetro. A padronização do tamanho médio das partículas é importante, pois influencia no processo de extração do óleo e ainda, um dos equipamentos (aparato para extração com fluido supercrítico) possui especificações em relação ao tamanho mínimo de 0,5 mm de diâmetro das partículas.



**Figura 13.** a) Sementes de favela, b) Triturador industrial, c) Massa de sementes de favela pós trituração, d) Equipamento de agitação vertical vibratória utilizado para determinar diâmetro das partículas. Fonte: A autora.

Os valores de porcentagens de massa retida nas peneiras neste trabalho corroboram com a pesquisa de SANTOS (2017), com sementes de *Cnidocolus quercifolius* (semente de favela).

A autora obteve porcentagem semelhante retida nas peneiras de 20-48 da malha de Tyler no presente estudo.

Moura (2005) classificou a padronização da granulometria como um dos principais fatores no processo extrativo de óleo e conseqüentemente no rendimento final da operação. No seu estudo obteve um aumento circunstancial no rendimento de solução extrativa da *Schinus terebinthifolius Raddi* (aroeira da praia), pelo método de maceração, em comparação às extrações realizadas com granulometria não selecionada.

Após realizar os estudos de granulometria das sementes de favela, determinou-se a composição centesimal da semente de favela.

### 5.1.2 Composição centesimal da semente de *Cnidoscolus quercifolius*

A composição centesimal das sementes foi realizada quanto a umidade, proteínas, lipídios e cinzas presente no material. Os resultados estão apresentados na Tabela 7, representam a média das triplicatas para todos os testes.

Tabela 7. Composição centesimal das sementes de faveleira (g 100g<sup>-1</sup>).

Características	Resultados obtidos (%)
Umidade	6,8
Teor de lipídios	33,1
Teor de proteínas	28,1
Teor de cinzas	4,8

Fonte: A autora.

Analisando-se a Tabela 7, verifica-se que o valor obtido de umidade das sementes de *Cnidoscolus quercifolius* foi de 6,8%, resultado semelhante com os valores de umidade de semente de favela, variedade sem espinhos, obtidos por SANTOS et al. (2017) e MEDEIROS et al. (2018), que foram de 6,13% e 6,63%, respectivamente.

O teor de cinzas, no presente estudo (4,8%) também foi similar ao encontrado pelos autores citados anteriormente, sendo 4,83% e 4,96%, concomitantemente.

Ainda em relação a composição centesimal das sementes de favela, os valores obtidos para os lipídeos e proteínas, foram de 33,1% de e 28,1%, simultaneamente. Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrado por CAVALCANTI et al. (2009), no seu estudo sobre

propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da faveleira, com ou sem espinhos. O autor obteve um teor de lipídios de 40,21% e proteínas de 35,77%.

Segundo CAVALCANTI et al. (2009), as constituições das sementes de favela evidenciam a potencialidade da cultura como fonte para produção de óleo e ainda possível constituinte da alimentação animal e humana. O rendimento proteico apresentou valores superiores quando comparado com outras amêndoas, dentre elas: amendoim (27,6%), girassol (27,3%), gergelim (21,0%) (KHALIL et al., 1985).

Os valores obtidos por MEDEIROS et al. (2018) para proteínas (26,99%) e lipídios (30,97%), também corroboram com os resultados encontrados no presente trabalho, sendo coletados no período sazonal análogo ao do estudo atual.

A cultura da *Cnidoscolus quercifolius* se caracteriza por ser uma espécie que possui alto teor de nutrientes, apresentando uma quantidade significativa tanto de proteínas como de lipídios, sendo assim, classificada como uma semente oleaginosa (SOUZA, et al., 2012). Na literatura, ainda podemos comparar resultados similares em relação ao teor de proteínas e lipídios encontrados,  $(31.38\% \pm 0.86)$  e  $(35.20\% \pm 1.18)$ , respectivamente, obtidos por SANTOS (2017), em estudo sobre a composição química do óleo extraído das sementes de favela.

Após realizar os estudos de granulometria e composição centesimal das sementes de favela, a próxima etapa do trabalho foi avaliar o rendimento de óleo obtido por diferentes métodos de extração.

## 5.2. EXTRAÇÃO DE ÓLEO POR APARATO GOLDFISH

A extração de óleo das sementes de favela foi realizada em aparato Goldfish (extração de lipídios empregando solventes à quente, Figura 14) e os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8. Porcentagem de lipídios extraídos com aparato Goldfish.

Solvente	Média da triplicata do rendimento de óleo (%)
Hexano	36,78
Etanol	40,17

Fonte: A autora

Analisando-se a Tabela 8, verifica-se que na extração utilizando etanol como solvente, após 5 horas, foi obtido um maior rendimento quando comparado com a extração empregando hexano. O maior rendimento de óleo removido da semente, pode ser devido a maior capacidade do etanol em superar as forças de ligação dos lipídios (forças de Van der Waals) dentro da amostra (O'BRIEN, 1998).

Os resultados de extração de óleo utilizando-se hexano como solvente (36,78%), corroboram com o estudo realizado por Moura Fé et al. (1977), que compararam a composição química das sementes das duas variedades de *Cnidocolus*, com e sem espinhos, e obtiveram, respectivamente, 31,3 e 31,0% de lipídios.

Em relação ao rendimento de óleo extraído, empregando-se solventes distintos, CORREIA (2009) realizou um estudo de extração do óleo da torta de girassol com o aparato Soxhlet, no tempo de 6 horas. O autor obteve um rendimento maior quando utilizou o etanol como solvente (47,13%), enquanto com o hexano obteve 42,02% de rendimento. No estudo de JUCHEN (2019), a autora obteve maior rendimento de extração (23,4%) do óleo de arroz por meio de Soxhlet, empregando o etanol como solvente.

Resultados semelhantes foram obtidos na extração de sementes de baru por FETZER et al. (2018). Os autores encontraram 26,80% de rendimento de óleo, utilizando etanol como solvente e 23,98 quando empregaram hexano.

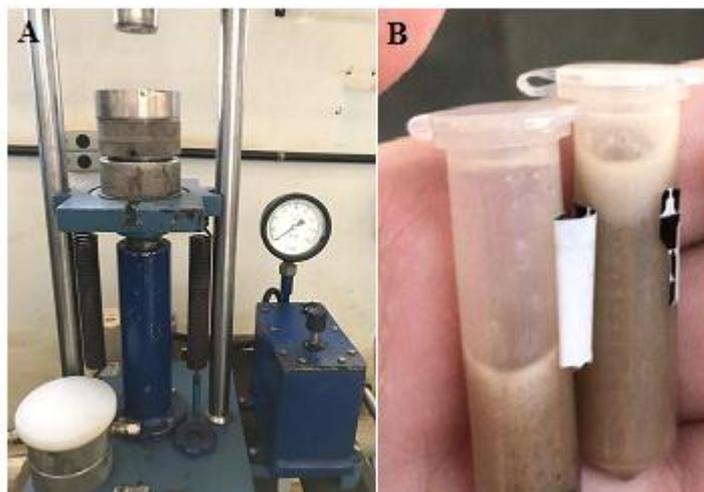
Realizando-se uma comparação entre os rendimentos distintos obtidos para os diferentes solventes, através da análise das duas variáveis pela ANOVA, foi possível afirmar que a diferença não foi significativa entre os tratamentos, empregando o nível de significância de 5%. Pode ser evidenciado que o etanol possui uma polaridade superior (ligações de hidrogênio), dessa forma consegue extrair compostos mais polares em comparação ao hexano (apolar) (MOREAU, POWELL & SINGH, 2003).



**Figura 14.** Aparato de Goldfish. Fonte: A autora.

### 5.3. EXTRAÇÃO DE ÓLEO POR PRENSAGEM MECÂNICA

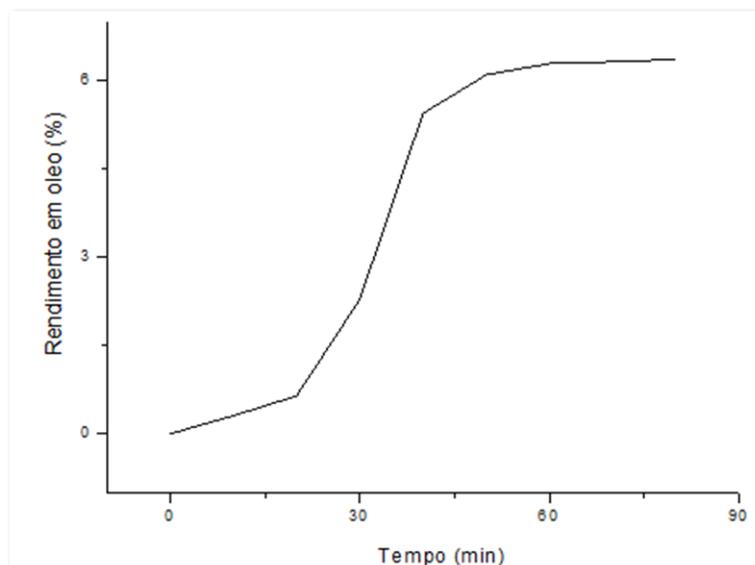
A prensa mecânica foi alimentada com sementes de *Cnidoscolus quericifolius*, da variedade sem espinhos, contendo aproximadamente 6,8% de umidade. O óleo obtido no final do processo tinha uma coloração escura e grande concentração de sedimentos, provenientes do pericarpo das sementes (Figura 15), sendo necessário ser filtrado com o auxílio de funil e papel filtro.



**Figura 15.** a) prensa mecânica utilizada no experimento, b) Óleo de favela obtido no fim do processo. Fonte: A autora.

Esse método tradicional de extração (prensagem a frio) possui uma maior simplicidade e segurança durante o processo, favorecendo a qualidade final do óleo obtido, pois não há o uso de solventes, conseqüentemente não tendo a presença de resíduos químicos, tanto na torra quanto no próprio óleo bruto (SOUZA et al., 2012).

A figura 16 apresenta o gráfico com o rendimento obtido de óleo na extração por prensagem a frio em decorrência do tempo (minutos) até que não houvesse mais escoamento de óleo da torta das sementes.



**Figura 16.** Rendimento em óleo de *C. querifolius* em decorrência do tempo de extração. Fonte: A autora.

Observa-se um crescimento lento de massa de óleo extraída até 15 minutos do processo e, a partir dos 20 minutos começa um aumento mais expressivo, chegando em torno de 60 minutos e se estabilizando a partir desse ponto. Essa curva corrobora com os resultados obtidos por SILVA et al., (2012), na extração de óleo das sementes de *A. muricata* (graviola) por prensagem mecânica, empregando a pressão de  $509 \text{ kgf cm}^{-2}$ .

Na figura 15, pode ser evidenciado que mesmo com 80 minutos do processo de extração, o rendimento de óleo de *C.quericifolius* foi menor que 10%, chegando em torno de 6,3% e estabilizando, ou seja, atingindo-se o equilíbrio e sem ter mais escoamento de óleo da massa das sementes.

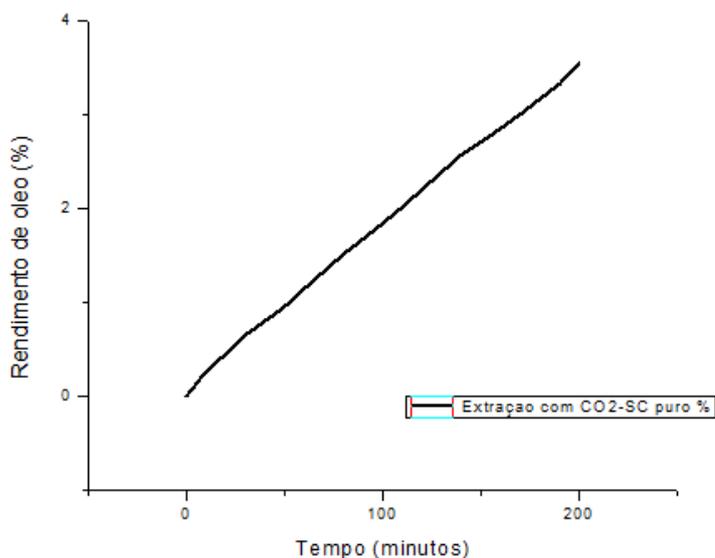
Esse rendimento baixo, pode ser justificado pela pressão aplicada na prensa mecânica ser insuficiente para extrair o conteúdo lipídico, principalmente pelo fato de a semente de favela possuir uma epiderme extremamente rígida, sendo mais difícil rompê-la por completo. Outro fator que pode ter colaborado com o baixo rendimento de óleo, pode ser o não aquecimento no processo de extração. Segundo Socol et al. (2003), quando as oleaginosas (sementes ricas em lipídios) são submetidas ao aquecimento, como por exemplo, nas extrações por Soxhlet ou Goldfish, o rendimento final de óleo pode ser influenciado por esse fator.

O aquecimento das sementes minimiza a viscosidade do óleo, sua tensão superficial e gera um aumento da permeabilidade da membrana celular, conseqüentemente facilitando a remoção de óleo das sementes (MANDARINO & ROESSING, 2001).

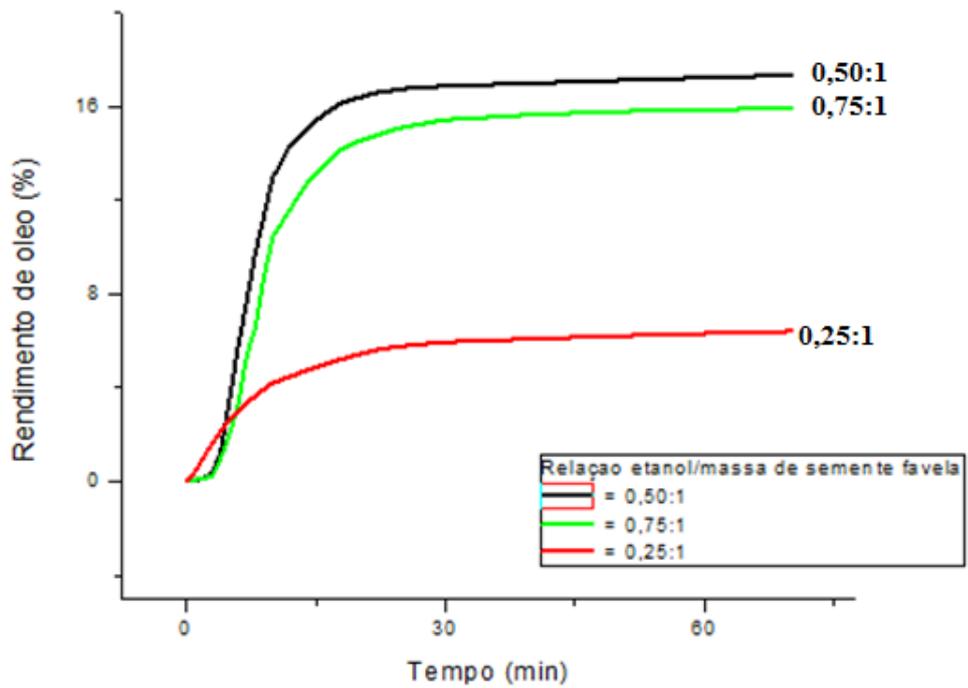
#### 5.4. EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE *Cnidioscolus quericifolius* COM CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO

Em todos os experimentos realizados com o fluido supercrítico (CO<sub>2</sub>), o tempo de extração estática utilizado foi de 30 minutos, o qual se refere ao período em que o solvente entra em contato com a massa de sementes e interage com a mesma, dessa forma, o solvente entra em contato com os poros para posteriormente iniciar a extração dinâmica. Os experimentos foram realizados a uma mesma temperatura e pressão, 80°C e 200 bar respectivamente. As variáveis estudadas para avaliar o rendimento de óleo extraído foram os diferentes solventes e as distintas razões entre massa de semente e quantidade de etanol e acetato de etila empregados. Os experimentos realizados para analisar o rendimento de óleo obtido com CO<sub>2</sub>-SC, CO<sub>2</sub>-SC+EtOH, CO<sub>2</sub>-SC+EtAc (Acetato de etila).

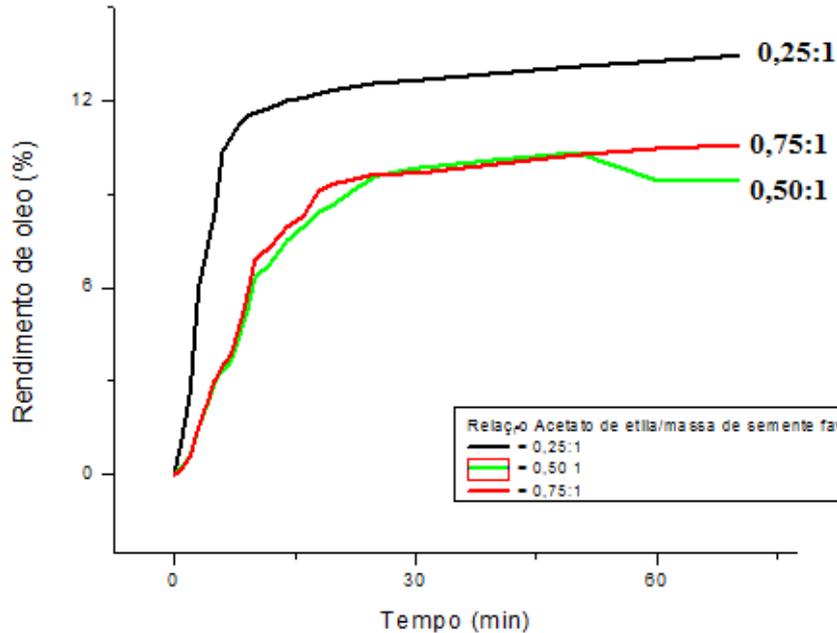
Os resultados estão apresentados nas Figuras 17, 18 e 19.



**Figura 17.** Curva de extração com CO<sub>2</sub>-SC. Condições do ensaio: 80°C e 200 bar. Fonte: A autora.



**Figura 18.** Curva de extração com CO<sub>2</sub>-SC+EtOH em diferentes razões de co-solvente e massa, em decorrência do tempo (minutos). Condições do ensaio: 80°C e 200 bar. Fonte: A autora.



**Figura 19.** Curva de extração com CO<sub>2</sub>-SC+AcEt em diferentes razões de co-solvente e massa, em decorrência do tempo (minutos). Condições do ensaio: 80°C e 200 bar. Fonte: A autora.

Em relação as quantidades de co-solvente empregadas na extração com fluido supercrítico, utiliza-se uma quantidade mínima, devido as etapas posteriores a esse processo

para remover esses produtos do extrato, o que ocasionaria um custo mais elevado na operação (CHEN, 2008).

Os dois tipos de solventes adotados no presente trabalho, o etanol e o acetato de etila foram selecionados devido ao primeiro ser amplamente utilizado como modificador no processo, além de ser considerado de baixíssimo risco à saúde humana e ao meio ambiente. O segundo também tem sua importância, utilizado principalmente em indústrias alimentícias e farmacêuticas (PANG, et al., 2018).

Na figura 16 foi possível traçar uma curva de extração de forma infinita, ou seja, sem utilização de co-solvente, o processo se torna demorado e pouco viável, pela baixa porcentagem de óleo extraído, mesmo com 200 minutos de extração, o valor obtido de óleo foi inferior a 4%, demandando muito tempo de extração.

Foi possível observar nas Figuras 17 e 18, as etapas das curvas globais de extração, que foram compostas inicialmente pelo período de taxa de extração constante (CER), depois pelo período de taxa de extração decrescente (FER) e no final pelo período controlado por difusão. É normal não ser visualizado as três fases bem definidas, pelo fato de que a solubilidade do extrato ser alta no CO<sub>2</sub> supercrítico (CAMPOS et al., 2005).

Nas duas extrações em que foram empregados os co-solventes (etanol e acetato de etila), nas Figuras 17 e 18, verifica-se que ocorreu um aumento na eficiência do processo, extraíndo uma porcentagem maior de óleo em um menor espaço de tempo, quando comparada com a extração de CO<sub>2</sub> supercrítico puro.

Tais resultados corroboram com o autor JUCHEN (2019), que obteve extratos de arroz parboilizado mais rapidamente com a presença de co-solvente comparado a um processo que só utiliza CO<sub>2</sub> supercrítico na extração. Essa ação de determinados co-solventes pode ser justificada pelo aumento da solubilidade, que tem relação com o aumento da densidade dos solventes, assim otimizando a eficiência da extração (SANTOS et al., 2017).

Como a adição de determinados co-solventes elevaram a eficiência do processo, se faz necessário avaliar a razão desses solventes e da massa de sementes que atua no sistema.

Pode ser destacado em relação a figura 19 (extração com CO<sub>2</sub>-SC+EtOH), o maior rendimento de óleo de favela foi obtido empregando a relação massa de semente/co-solvente de 0,5:1 (17 mL de etanol: 34g de farelo), tendo um rendimento de 17,32% na extração, valor superior quando comparado com a extração utilizando CO<sub>2</sub>-SC puro e empregando acetato de etila como co-solvente.

Os resultados em relação ao etanol como co-solvente corroboram com o estudo de JUCHEN (2019) que conseguiu obter o maior rendimento de extrato de arroz parborizado utilizando CO<sub>2</sub>-SC+EtOH, aproximadamente 25,48% em 40°C e 200 bar.

No processo de extração de óleo de sementes de uva tipo Isabel e Herbemont, utilizando CO<sub>2</sub>-SC+EtOH, FREITAS (2007) verificou o rendimento de 9,88%, empregando 10% de etanol como co-solvente no processo, em temperatura de 45°C e 181 bar de pressão.

Na figura 17, pode ser destacado que o maior rendimento empregando acetato de etila aliado ao CO<sub>2</sub> como fluido supercrítico, foi com a razão massa de semente/co-solvente 0,25:1 (8,5 mL de acetato de etila: 34g de farelo), apresentando um rendimento de 13,43% de óleo, resultado superior quando comparado com a extração utilizando CO<sub>2</sub>-SC puro.

Os valores obtidos corroboram com o estudo de FREITAS (2007), o qual acrescentou 10% de acetato de etila na extração com CO<sub>2</sub>-SC de óleo de uva, na temperatura de 45°C e 181 bar de pressão, obtendo 11,1% de rendimento de óleo. ZULKAFI *et al.*, 2014, obteve um rendimento de 8,6 % de óleo, adicionando 5 % de acetato de etila ao CO<sub>2</sub> no processo de extração de *Cordia verbenácea* (erva baleeira) e ainda conseguiu recuperar um extrato com atividade antimicrobiana elevada.

No trabalho de SANTOS *et al.* (2017) foram obtidos rendimentos de óleo de candeia superiores com o aumento da quantidade de etanol e de acetato etila adicionados na extração com CO<sub>2</sub>-SC. Além do mais os autores evidenciaram que a adição dos co-solventes ocasionava um aumento na densidade da mistura e na solubilidade do óleo de candeia.

Nas extrações de óleo com CO<sub>2</sub>-SC geralmente são empregados solventes modificadores com o intuito de aumentar o rendimento do produto, extraíndo um número maior de compostos insolúveis no solvente principal, devido a baixa polaridade do CO<sub>2</sub> como solvente principal (BERMEJO *et al.*, 2016).

Os maiores rendimentos de óleo de *Cnidocolus quericifolius* obtidos no presente trabalho utilizando CO<sub>2</sub>SC-EtOH, podem ser justificados pelo etanol ser classificado como um solvente forte em relação ao acetato de etila que é classificado como moderado, ou seja, o etanol é um solvente mais polar que o acetato de etila. Essa propriedade se deve a tendência dos compostos formarem ligações de hidrogênio com o etanol e, conseqüentemente, aumentando a sua solubilidades e o rendimento da extração s (HAMBURGER *et al.*, 2004).

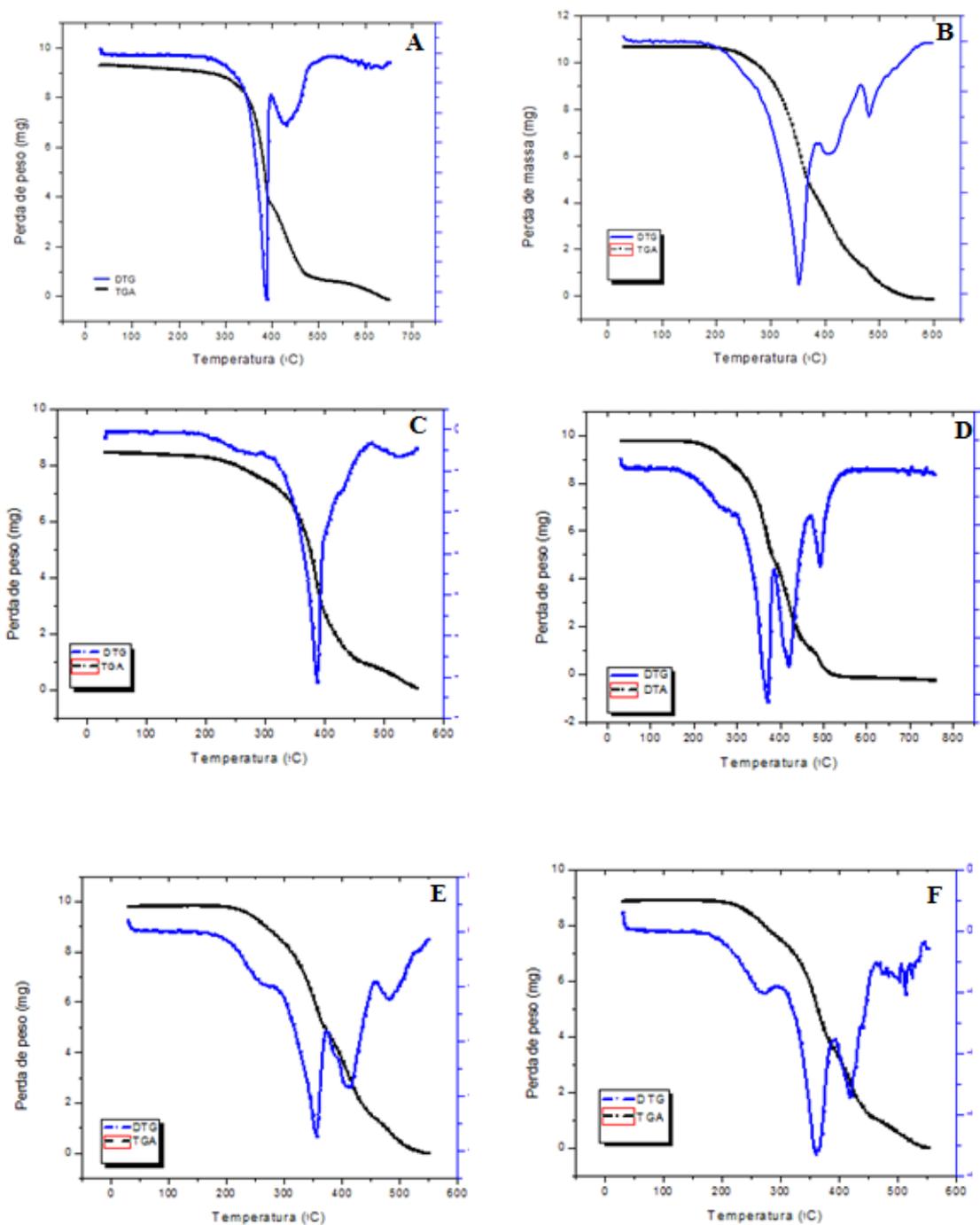
Além da análise de rendimento do óleo de *Cnidocolus quericifolius* de acordo com cada método distinto de extração, também foi realizada a avaliação de gravimetria do produto

obtido, verificando a influência do tipo de extração realizada, o solvente e co-solvente e as respectivas razões de massa de sementes/solvente empregadas no sistema.

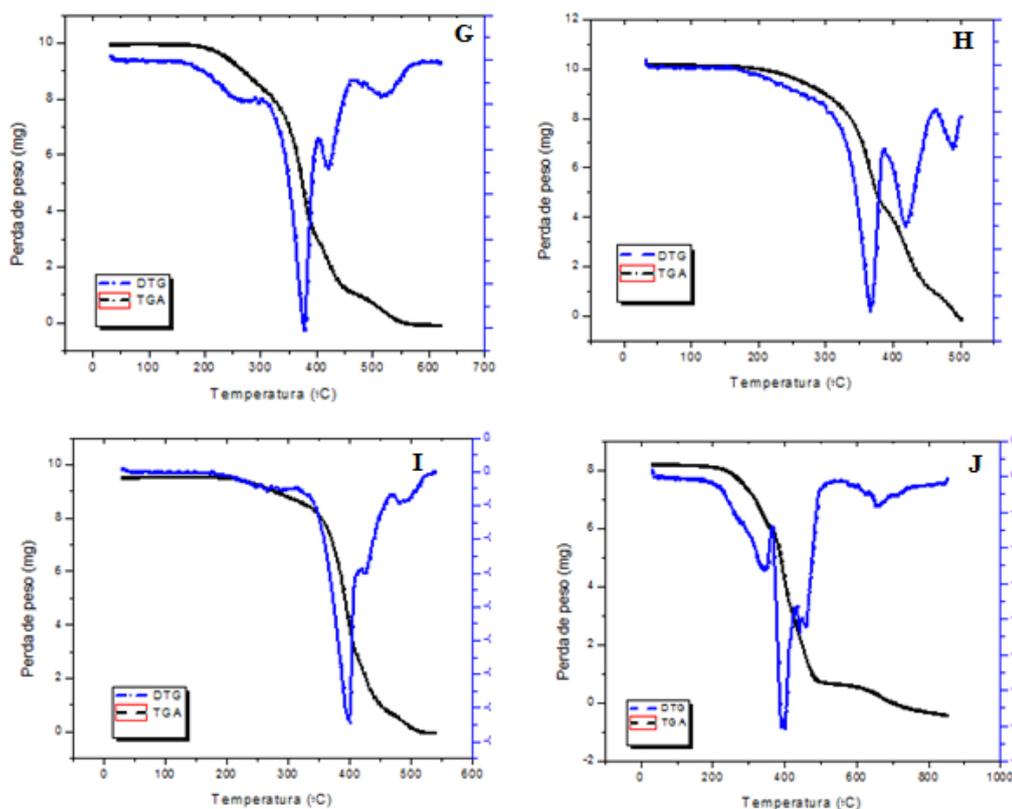
#### 5.5. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DO ÓLEO DE *Cnidocolus quericifolius*

A análise termogravimétrica do óleo foi realizada no equipamento da Mettler- Toledo - TGA - SDTA - 851 acoplado a um sistema de aquisição de dados. As variáveis empregadas para todas as amostras foram: método não isotérmico, 50 m<sup>3</sup> de ar sintético, razão de aquecimento de 10°C min<sup>-1</sup> de 30°C até 500°C.

Esse parâmetro se faz importante, principalmente tratando de óleos vegetais que podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de biocombustível. Visto que com essa análise, é possível obter a curva de estabilidade oxidativa, ou seja, conseguindo identificar os picos de temperatura onde óleo começa a sofrer degradação e assim perder massa. Nas figuras 20 e 21, pode ser observado os diferentes picos de temperatura de degradação do óleo de favela para cada método, solvente utilizado no processo de extração e a perda de massa em decorrência do aumento da temperatura.



**Figura 20.** Curvas de TG e DSC para o óleo de faveira obtido com: a) etanol (Goldfish); b) hexano (Goldfish); c) prensa mecânica, d) CO<sub>2</sub>-SC+Acetato (R=1:0,25; 80°C; 200 bar); e) CO<sub>2</sub>-SC+Acetato (R=1:0,5; 80°C; 200 bar); f) CO<sub>2</sub>-SC+Acetato (R=1:0,75; 80°C; 200 bar).



**Figura 21.** Curvas de TG e DSC para o óleo de favela obtido com: g)  $\text{CO}_2\text{-SC+EtOH}$  ( $R=1:0,25$ ;  $80^\circ\text{C}$ ; 200 bar); h)  $\text{CO}_2\text{-SC+EtOH}$  ( $R=1:0,5$ ;  $80^\circ\text{C}$ ; 200 bar); i)  $\text{CO}_2\text{-SC+EtOH}$  ( $R=1:0,75$ ;  $80^\circ\text{C}$ ; 200 bar); j)  $\text{CO}_2\text{-SC}$  puro ( $80^\circ\text{C}$  e 200 bar).

Nas figuras 19 e 20, o pico máximo de temperatura de degradação do óleo (oxidação), foi de aproximadamente  $400^\circ\text{C}$ . A perda total de massa (mg) ocorreu em todas as amostras quando submetidas a temperatura próxima dos  $500^\circ\text{C}$ , ou seja, para ambas as curvas (TGA e DTG) houve pouca variância entre os métodos de extração empregados para a *Cnidiosolus quericifolius*.

Os dados obtidos no presente trabalho corroboraram com os resultados obtidos por SANTOS et al. (2017), com o estudo do óleo de favela obtido através de Soxhlet, utilizando hexano como solvente, obtendo-se o primeiro pico máximo de degradação com a temperatura de  $357,4^\circ\text{C}$ , e a perda total de massa (mg) com a temperatura de  $500^\circ\text{C}$ . O primeiro estágio de decomposição identificado nas amostras foi de aproximadamente  $180^\circ\text{C}$ , finalizando em  $390^\circ\text{C}$  em média. Essa primeira fase de declínio da curva se caracteriza como mais importante, pois é nesse momento em que triglicerídeos são degradados (Araus et al., 2012). Nessa fase são formados hidroperóxidos e peróxidos devido à reação com oxigênio, resultando ainda em cetonas, aldeídos, álcoois e ácidos (ATTARD et al., 2018).

Através da curva (DTG), podem ser visualizadas as etapas de decomposição de óleo. Percebe-se que em todas as amostras analisadas, os eventos foram endotérmicos, ou seja, perdas de massa consecutivas. Essas perdas estão relacionadas com a composição dos ácidos graxos e conseqüentemente com a suscetibilidade dos mesmos. Na pesquisa de Santos et al. (2005), foi realizada a análise de diversos óleos vegetais, identificando três eventos térmicos destacados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados de eventos térmicos em óleos vegetais obtidos por Santos et al. (2004).

<b>Evento térmico</b>	<b>Faixa de temperatura</b>
Perda de massa dos ácidos graxos polinsaturados	200-380 °C
Perda de massa dos ácidos graxos monoinsaturados	380-480 °C
Perda de massa dos ácidos graxos saturados	480- 600 °C

Fonte: SANTOS et al (2005).

Em estudo realizado por Cavalcanti et al. (2012), os autores obtiveram a decomposição do óleo de favela, variando-se de 200,4 a 396,4 °C na fase inicial, obtido pela extração com Soxhlet através de n-hexano como solvente. No trabalho de Rampazzo (2015) com óleo de soja, o autor obteve amostras estáveis à decomposição até a temperatura de 300°C e o final da decomposição, que representa a temperatura de estabilidade notada em torno de 600°C. Por meio do comportamento térmico das amostras analisadas é possível avaliar a estabilidade dos óleos obtidos pelos diferentes métodos empregados no trabalho, sendo um fator de extrema importância em indústrias de estocagem e comercialização do mesmo, como um parâmetro de qualidade (SANTOS et al., 2004).

Os óleos vegetais que possuem um alto teor de ácidos graxos poli-insaturados, como exemplo, o girassol e gergelim, tendem a ser mais suscetíveis à oxidação, quando comparados com o óleo da favela, que apresenta um tempo de indução oxidativa superior e apresenta um teor de ácidos graxos monoinsaturados e saturados (PARDAUIL et al., 2011).

A degradação de determinados óleos vegetais produz certos compostos voláteis, como ácidos graxos, aldeídos e álcoois como produtos secundários, e ainda alguns compostos como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, acrilamida e acroleína, os quais acarretam efeitos

adversos à saúde, pois são tóxicos, possuindo propriedades carcinogênicas e mutagênicas (ONTANÓN et al., 2015).

Nesse âmbito, vários autores têm realizado estudos, analisando o comportamento térmico dos óleos vegetais. Na Tabela 9, podem ser observados alguns autores e seus respectivos trabalhos.

Tabela 9. Estudos do parâmetro estabilidade térmica em óleos vegetais realizados e respectivos autores.

Estudo	Autores
Chemical composition, antioxidant activity and thermal analysis of oil extracted from favela ( <i>Cnidocolus quercifolius</i> ) seeds	Santos et al., (2017).
Composição de ácidos graxos em óleos vegetais obtida por cromatografia gasosa e sua correlação com propriedades térmicas, reológicas, espectroscópicas e outras propriedades físico-químicas.	Carvalho (2019).
Caracterização físico-química e análise térmica do óleo da semente de <i>Moringa Oleífera</i> .	Cavalcante (2017)
Caracterização Físico-Química de Óleos Vegetais de Oleaginosas Adaptáveis ao Nordeste Brasileiro com Potenciais para Produção de Biodiesel.	Moura et al., (2019)

Fonte: A autora (adaptado).

O aquecimento dos óleos, em altas temperaturas e por um longo período, pode alterar sua composição, degradando ácidos graxos presentes. Conhecer as propriedades térmicas dos óleos é fundamental em um processo tecnológico, pois assim é possível ter um controle para que o produto mantenha suas características durante e após o processamento, o que é um grande obstáculo tendo em vista os diversos agentes oxidantes que podem entrar em contato modificando a estrutura, características sensoriais e tecnológicas (MUIK et al., 2007).

Outro parâmetro importante em relação a caracterização do óleo de favela como potencial para biocombustível é a composição dos ácidos graxos, os quais podem influenciar no processo de degradação oxidativa dessa matéria-prima para a produção de biocombustíveis.

## 5.6. COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS

A variedade de ácidos graxos presentes nos óleos, principalmente os poli-insaturados, determinam a disposição destes aos processos de degradação térmica e oxidativa. Além disso, os lipídios são compostos por uma grande variedade de ácidos graxos, dependendo da matéria-prima que são obtidos. Em relação à estrutura, os óleos vegetais possuem maior número de insaturações, quando comparados com gorduras (VAZ, 2006).

Vários desses óleos, sobretudo os ácidos com 18 carbonos, possuem um alto teor de ácidos graxos, exercendo importantes funções no organismo, como exemplo: ácido linoleico, oleico e linolênico, sendo encontrados em matérias primas como óleo de soja, milho, canola, oliva, semente de linhaça e ainda favela (RAMALHO, 2006). A maioria dos óleos vegetais usados em alimentos atualmente, como óleo de soja, girassol, milho e canola, possuem alto teor de ácidos graxos poli-insaturados, que em comparação aos óleos com altos teores de ácidos graxos monoinsaturados, são mais susceptíveis a reações de deterioração por terem um maior número de insaturações possíveis para a ocorrência de possíveis reações desencadeadas pelo contato com ar, luz e aumento de temperatura (NASCIMENTO et al., 2008).

Na tabela 10 e 11, podem ser observados a composição de ácidos graxos no óleo da favela, de acordo com cada método de extração e solvente empregado.

Tabela 10 – Concentração de ácidos graxos em % no óleo de favela (*Cnidocolus quercifolius*) de acordo com o método de extração empregado na obtenção do óleo.

Ácidos graxos (%)	Goldfish (etanol)	Goldfish (hexano)	Prensa mecânica	CO <sub>2</sub> -SC e EtOH (0,5:1)
Mirístico (C14:0)	0,358 ±0,01	0,381 ±0,01	0,531± 0,014	0,351 ±0,00
Palmitico (C16:0)	19,947 ±0,1	19,272 ±0,12	21,461 ±0,18	19,525 ±0,15
Estearico (C18:0)	13,498 ±0,09	13,056 ±0,02	12,156 ±0,08	12,616 ±0,04
Oleico (C18:1n9)	20,661 ±0,03	21,640 ±0,08	21,823 ±0,14	21,514 ±0,01
Linoleico (C18:2n6)	43,573 ±0,10	43,631 ±0,01	42,139 ±0,12	44,081 ±0,10
Linoleico (C18:3n3)	0,822 ±0,00	0,882 ±0,02	0,874 0±,06	0,796 ±0,00
Araquídico (C20:0)	0,713 ±0,01	0,711 ±0,05	0,613 ±0,02	0,697 ±0,00

Fonte: A autora.

Tabela 11 – Concentração de ácidos graxos em % no óleo de favela (*Cnidocolus quercifolius*) de acordo com o método de extração empregado na obtenção do óleo.

Ácidos graxos (%)	CO <sub>2</sub> -SC+EtOH (0,75:1)	CO <sub>2</sub> -SC+EtAc (0,5:1)	CO <sub>2</sub> -SC+EtAc (0,75:1)
Mirístico (C14:0)	0,376 ±0,001	0,390 ±0,00	0,382 ±0,00
Palmitico (C16:0)	19,482 ±0,04	19,442 ±0,07	20,292 ±0,13
Estearico (C18:0)	12,801 ±0,00	13,148 ±0,00	13,525 ±0,10
Oleico (C18:1n9)	21,672 ±0,07	21,887 ±0,03	20,770 ±0,00
Linoleico (C18:2n6)	43,742 ±0,00	43,131 ±0,08	43,082 ±0,03
Linoleico (C18:3n3)	0,851 ±0,00	0,882 ±0,00	0,865 ±0,00
Araquídico (C20:0)	0,678 ±0,03	0,719 ±0,00	0,685 ±0,00

Fonte: A autora.

Nas Tabelas 10 e 11, foram evidenciados que os principais ácidos graxos que constituem o óleo da favela, independente do método de extração, apresentam 14 a 20 átomos de carbonos na sua estrutura química. Houve um predomínio dos ácidos graxos classificados como insaturados.

Em relação aos ácidos graxos das tabelas 10 e 11 verificou-se que não houve diferença significativa pela ANOVA, com um nível de significância de 5%. Dessa forma, os métodos de extração demonstraram-se análogos em relação à concentração final de cada ácido graxo.

O principal ácido graxo encontrado em todas as amostras de *Cnidocolus quericifolius* foi o linoleico (C18:2 n6) com média de 43,33%, seguido do oléico (C18:1 n9) com média de 21,34% para todas as amostras analisadas. Esses resultados estão de acordo com a literatura (SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2014; CAVALCANTI, 2012).

Os valores obtidos no presente trabalho, também corroboram com os encontrados por (Ribeiro, 2016), no estudo sobre caracterização físico-químicas do óleo da semente de faveleira, identificando um teor de 17,7% de ácido graxo oléico e 53,56% de ácido graxo linoleico. É importante ressaltar que as quantidades de ácidos graxos encontrados em cada uma das amostra, variam de acordo com o tipo de extração, juntamente com o solvente escolhido para o processo de obtenção do óleo da semente de faveleira.

A quantidade de ácidos graxos classificados como saturados foi em média 32,87%, com o ácido palmítico (C16:0), média de 19,84% e ácido esteárico (C18:0), com média de 13,03% nas amostras.

O ácido graxo linoléico que foi responsável pela maior porcentagem de composição das amostras é considerado estritamente essencial, sua síntese não é realizada pelo organismo humano, apresenta efeito benéfico a saúde, exercendo efeito positivo sobre os lipídios sanguíneos, como a redução da pressão sanguínea e colesterol sérico (FENNEMA et al., 2010).

A composição de ácidos graxos do óleo da *Cnidocolus quericifolius* se assemelha à outras oleaginosas: a soja que possui em média 53% de ácido linoléico, 23% de ácido oleico (Matthaus & Özcan, 2014); óleo de girassol, contendo 45,35% de ácido linoléico, 49,02% de ácido oleico e 4% de ácido palmítico (Correia, 2009); e óleo de milho com linoleico (59,6%), oleico (25,4%), palmítico (10,9%) (MARTIN et al., 2006).

O perfil do ácido graxo evidencia que o óleo da favela pode ser uma fonte potencial de nutrição do ácido graxo linoleico, que apresenta funções na membrana celular (funcionais) e processos metabólicos (BOUAID et al., 2007). O ácido oléico também possui benefício nutricional e gera estabilidade oxidativa ao óleo, o qual se assemelha a soja, milho, e óleo de

girassol, graças á essa característica, o óleo pode ser submetido a processos que envolvem altas temperaturas (BHUTADA et al., 2016).

Além dos ácidos graxos que compõem o óleo de favela, existe a presença de material insaponificável (fitosteróis e tocoferóis). Os tocoferóis são caracterizados como antioxidantes de extrema importância, são encontrados em óleos vegetais que não passaram por processos industriais (SCHMIDT & POKORN, 2005).

Nas análises em que o óleo proveniente de diferentes métodos de extração e solventes, também foram quantificados os tocoferóis e fitoesteróis presentes nas diferentes amostras, podendo ser visualizados na Tabela 12.

Tabela 12– Tocoferóis e fitoesteróis presente no óleo de favela (*Cnidocolus quercifolius*) de acordo com o método de extração empregado na obtenção do óleo.

Método de extração	Composição (mg 100g <sup>-1</sup> )			
	γ-tocoferol	δ- tocoferol	β-tocoferol	β-sitoesterol
Prensa mecânica	43,02	31,47	209,90	150,9
CO <sub>2</sub> -SC+EtOH (R=0,75:1*)	21,46	19,63	137,59	90,90
CO <sub>2</sub> -SC+EtOH (R=0,5:1*)	17,77	19,51	112,71	76,64
CO <sub>2</sub> -SC+EtAc (R=0,75:1*)	22,91	14,69	117,44	87,49
CO <sub>2</sub> -SC+EtAc (R=0,5:1*)	14,52	14,73	76,43	79,73
Goldfish etanol	25,22	12,64	139,64	76,01
Goldfish hexano	25,07	12,63	124,92	70,19

\*(Razão de co-solvente:massa de sementes). Fonte: A autora.

Conforme os dados apresentados na Tabela 12, os maiores valores foram identificados na amostra com óleo proveniente da prensa mecânica, ou seja, óleo puro, sem ser submetido à altas temperaturas e solvente, sendo que o β-tocoferol foi o composto predominante (209,90 mg 100 g<sup>-1</sup>), seguido do β-sitoesterol (160,9mg 100g<sup>-1</sup>); γ-tocoferol (43,02 mg 100g<sup>-1</sup>) e δ-tocoferol (31,47 mg 100g<sup>-1</sup>); respectivamente.

O termo genérico "vitamina E" empregado para definir oito compostos distintos, nomeados α-, β-, γ- e δ- (alfa, beta, gama e delta) tocoferóis e tocotrienóis. Tocoferóis e tocotrienóis podem ser encontrados em proporções variáveis em vegetais, sendo as principais fontes, germe de trigo, sementes oleaginosas, vegetais folhosos verde-escuros e alimentos de

origem animal, principalmente a gema de ovo e fígado. Os isômeros mais abundantes nesses alimentos são o  $\gamma$ - e o  $\alpha$ - tocoferol (SOUZA, et al., 2004).

Os óleos vegetais comestíveis, possuem concentrações altas de tocoferóis e tocotrienóis, apresentam grande consumo por parte da população mundial, compondo os alimentos que contem a vitamina E. O óleo de girassol é considerado o mais rico em  $\alpha$ -tocopherol, seguido pelas culturas do algodão, palma, canola, amendoim, oliva, milho, soja e coco (HAAS, et al., 2001).

Os valores obtidos corroboram com alguns trabalhos da literatura, (Santos et al., 2017) para o óleo da *Cnidocolus quericifolius*, os quais foram quantificados com (15,09 mg 100g<sup>-1</sup>)  $\gamma$ -tocopherol e (127,98 mg 100g<sup>-1</sup>)  $\beta$ -sitosterol. Para o óleo de soja foram identificados o  $\gamma$ -tocopherol como o composto predominante (66,33 mg 100g<sup>-1</sup>), seguido do  $\delta$ - tocoferol (22,5 mg 100g<sup>-1</sup>); e em menores quantidades, o  $\alpha$  e  $\beta$ -tocopherol, com 4,96 e 1,86 mg 100g<sup>-1</sup> (QUEIROS et al., 2015).

O conteúdo de sitosterol encontrado é equivalente ao encontrado no óleo de mamona, 117,1mg 100g<sup>-1</sup>, que é uma espécie semelhante à favela (Lechner et al., 1999). Os resultados apresentados sobre a composição de ácidos graxos e tocoferóis em diferentes amostras de óleo de favela, corroboram com a literatura, valores superiores de óleo extraído à frio, ou seja, apenas com o auxílio da prensa mecânica, são considerados especiais, principalmente como fontes potenciais de matéria prima para produção de biocombustível, por possuírem lipídios biologicamente ativos, se assemelhando à outras culturas como: abóbora, macadâmia, buriti, linhaça (REZENDE, et al., 2006).

Para todos os componentes de ácidos graxos, aplicando a ANOVA e empregando o nível de 5% de significância, não houve diferença significativa entre os métodos de extração de óleo para a composição de tocoferóis e fitoesteróis. Pode ser evidenciado que o óleo obtido através da prensa mecânica possui um maior grau de pureza, pois não são empregados solventes químicos como nos outros métodos, podendo influenciar na composição de ácidos graxos do produto final (YOSHIDA & TAKAGI, 1997).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da favela (*Cnidocolus quericifolius*) apresenta uma expressiva importância econômica, podendo ser matéria prima para diversos usos em escala comercial. Seja no fornecimento de óleo para indústria, como também como componente da dieta dos animais, servindo como fonte proteica.

O óleo da semente de favela apresentou estabilidade térmica (oxidativa) em todos os métodos de extração e solventes empregados, podendo ser considerado uma fonte renovável potencial para a produção de combustíveis renováveis, visto que para ser considerado uma matéria prima para esse fim, necessita dessa característica pelo processo que é submetido na indústria (altas temperaturas).

Outro ponto relevante do trabalho foi a presença de ácidos graxos (atividade antioxidante) em todas as amostras estudadas. Sendo assim, uma característica favorável a esse material vegetal, que conta com poucas informações na literatura.

Os resultados apresentados colaboram para a difusão de informação e viabilidade dessa cultura, podendo ser fonte de renda para produtores e possíveis indústrias no ramo de extração de óleo vegetal, movimentando a economia de uma forma geral.

Em relação aos métodos de extração e a composição de ácidos graxos, pode ser evidenciado que o método clássico (prensa mecânica) mesmo não apresentando diferença significativa em relação aos outros métodos, o produto final apresentou uma concentração alta de ácidos graxos, auxiliando na estabilidade térmica do óleo, ou seja, quando submetido à altas temperaturas, evidenciando-se como um método interessante e com potencial, com foco na sustentabilidade do meio ambiente, sendo um produto mais puro, minimizando os resíduos químicos que impactam a natureza.

Por apresentar estabilidade térmica, atividade antioxidante e um perfil cromatográfico semelhante à algumas oleaginosas (girassol e soja), o óleo de favela pode ser uma matéria-prima potencial na aplicação da síntese de biodiesel. Uma vantagem adicional é que este óleo não compete com culturas agriculturáveis, como soja, milho e girassol.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOUFA, M.A.I.; MEDEIROS, J.A. **Valorização e preservação da faveleira (*C. quercifolius*) para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro**. Revista OKARA, João Pessoa, PB, v.10, n.3, p.453-476, 2016.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Washington: AOAC, 2005.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis – panorama geral**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?id=472>.

ATTARD, T.M.; BUKHANKO, N.; ERIKSSON, D.; ARSHADI, M.; GELADI, P.; BERGSTEN, U.; BUDARIN, V.; CLARK, J.; HUNT, A. **Supercritical extraction of waxes and lipids from biomass: A valuable first step towards an integrated biorefinery**. In: Journal of Cleaner Production, Vol. 177, p. 684-698, 2018.

ARAUS, K.A. et al. **Effect of triolein addition on the solubility of capsanthin in supercritical carbon dioxide**. Journal of Chemical Thermodynamics, v. 51, p. 190– 194, 2012.

BELTRÃO, N.E.M.; OLIVEIRA, M.I.P. **Oleaginosos potenciais do Nordeste para a produção de biodiesel**. Embrapa, Campina Grande. Paraíba, Brasil, 2007.

BERMEJO, D.V.; IBÁÑEZ, E.; REGLERO, G.; FORNARI, T. **Effect of cosolvents (ethyl lactate, ethyl acetate and ethanol) on the super critical CO<sub>2</sub> extraction of caffeine from green tea**. The Journal of Supercritical Fluids, v. 107, p. 507-512, 2016.

BOCKISCH, M. **Fats and oil handbook**. Champaign, Aocs, 1993. In: OETTERER, M.; REGITANO D.; SPOTO, M. H. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. São Paulo, Ed. Manole, 2006.

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. **Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils**. Revista Fuel, v.86, p.2596-2602, 2007.

BHUTADA, P. R., JADHAV, A.J., PINJARI, D.V., NEMADE, P.R. **Solvent assisted extraction of oil from *Moringa oleifera* Lam.** Revista Seeds. Ind. Crops Prod, v. 82, p. 74–80, 2016.

BRONZATTI, F. L.; IAROZINSKI N.A. **Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030.** 2008. Disponível em: <[https://www.fans.edu.br/wp-content/uploads/2015/06/texto\\_matrizes\\_energeticas\\_brasil\\_cenario\\_2010.2030.pdf](https://www.fans.edu.br/wp-content/uploads/2015/06/texto_matrizes_energeticas_brasil_cenario_2010.2030.pdf)>.

CAMPOS, G.N.F. **Clonagem de *Cnidocolus phyllacanthus* (Mart.) Pax et K. Hoffm. (Faveleira) por alporquia.** Gustavo Nóbrega Ferreira Campos. – Patos: 2010. 45p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

CAMPOS, L.M.A.S. et al. **Experimental data and modeling the supercritical fluid extraction of marigold (*Calendula officinalis*) oleoresin.** Journal of Supercritical Fluids, v. 34, n. 2, p. 163–170, 2005.

CANDEIA, B.L. **Faveleira (*Cnidocolus phyllacanthus* (Mart.) Pax et K. Hoffm.) obtenção de mudas e crescimento comparado ao fenótipo com espinhos.** Dissertação de pós-graduação - Universidade Federal de Campina Grande, Patos–PB, 2008.

CARDOSO, V.C.; FERNANDES, A.; HELENOA, S.A.; RODRIGUES, P.; GONZALÉZ-PARAMÁS, A.M.; BARROS, L.; FERREIRA, C.F.R. **Physicochemical characterization and microbiology of wheat and rye flours.** Food Chemistry, v. 280, p. 123-129, 2019.

CAVALCANTI, M.T. **Utilização das sementes da faveleira (*Cnidocolus phyllacanthus* (Mart.) Pax et K. Hoffm) em produtos alimentícios.** Tese de Pós-Graduação - Universidade Federal de Campina Grande, CampinaGrande-PB, 2011.

CAVALCANTI, M.T., BORA, P.S., CARVAJAL, L.J.C., FLORENTINO, E.R., SILVA, F.L.H. **Análise térmica e perfil de ácidos graxos do óleo das amêndoas de faveleira (*Cnidocolus phyllacanthus* Pax & K. Hoffm) com e sem espinho.** Revista Verde. Pombal-PB, v. 7, p. 154–162, 2012.

CAVALCANTI, M.T.; BORA, P.S.; CARVAJAL, J.C.; **Propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da faveleira (*Cnidoscopus phyllacanthus* (Mart.) Pax. et K. Hoffm.) com e sem espinhos.** Ciênc. Tecnol. Aliment, Campinas, v. 29, n. 3, p. 597-602, 2009.

CORREIA, I.M.S. **Extração e Pirólise do óleo de girassol (*Helianthus annuus*) visando a produção de biocombustíveis.** 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

COSTA, B. J.; OLIVEIRA, S.M.M. **Dossiê técnico: óleo de soja.** Curitiba: [S.n.]. 27 p. 2006.

CHEN, C.R. et al. **Supercritical carbon dioxide extraction and deacidification of rice bran oil.** The Journal of Supercritical Fluids, v. 45, p. 322–331, 2008.

DRUMUND, M. A.; SALVIANO, L. M. C.; CAVALCANTI, N. B. **Produção, distribuição d a biomassa e composição bromatológica da parte aérea da faveleira.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, PE, v. 2, n.4, p. 308-310, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semi-árido do Nordeste.** Petrolina-PE, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Utilização da planta nativa “favela” ou “faveleira” para a engorda dos rebanhos no período da seca,** 2006. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/web/portal/buscade-noticias/-/noticia/2300488/prosa-rural---utilizacao-da-planta-nativa-favela-ou-faveleirapara-a-engorda-dos-rebanhos-no-periodo-da-seca>>

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema.** 4 eds. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERRARI, R. A. OLIVEIRA, V. DA S., SCABIO, A. **Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etilicos, Caracterização Físico-Química e Consumo em Gerador de Energia.** Revista Química Nova, v. 28, 2005.

FETZER, D. L. et al. **Extraction of baru (*Dipteryx alata vogel*) seed oil using compressed solvents technology**. Journal of Supercritical Fluids, v. 137, p. 23–33, 2018.

HAAS, M. J.; SCOTT, K. M. ALLEMAN, T. L. MCCORMICK, R. L. **Engine Performance of Biodiesel Fuel Prepared from Soybean Soapstock a High Quality Renewable Fuel Produced From a Waste Feedstock**. Energy fuels, v. 15, p. 1207, 2001.

HAMBURGER, M., BAUMANN, D., ADLER, S. **Supercritical carbon dioxide extraction of selected medicinal plants: effects of high pressure and added ethanol on yield of extracted substances**. Phytochemical Analysis, v. 15, p. 4654, 2004.

HIRAKURI, M.H; LAZZAROTTO; J.J; ÁVILA, M.T. **Avaliação da relação entre soja e produção de biodiesel**, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30053/1/167.pdf>>.

INSTITUTO REGIONAL DA PEQUENA AGROPECUÁRIA APROPRIADA. **Faveleira: importante forrageira da caatinga**, 2011. Disponível em: <<http://www.irpaa.org/noticias/295/faveleira-importante-forrageira-da-caatinga>>.

JUCHEN, P.T. **Extração do óleo de farelo de arroz parboilizado utilizando dióxido de carbono supercrítico e etanol**. 104 f. (Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019).

KHALIL, M.; RAGAB, M.; ABD EL-AAL, M. H. **Foaming properties of oilseed proteins**. Die Nahrung, v. 29, n. 2, p. 201-207, 1985.

KITZBERGER, C. S. G. et al. **Supercritical fluid extraction of shiitake oil: Curve modeling and extract composition**. Journal of Food Engineering, v. 90, n. 1, p. 35– 43, 2009.

KNOTHE, G., RASHID, U. ANWAR, F., MOSER, B. R. **“Moringa oleifera Oil: A Possible Source of Biodiesel”**, Bioresource Technology, v. 99, p. 81758179. 2008.

LECHNER, M., REITER, B., LORBEER, E. J. **Of Chromatography A**, 857, 231. 1999.

LOURENÇO, T.R. **Características centesimal e microbiológica de bolo preparado com vinho tinto**. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

LORENZI, H. *Cnidoscopus phyllacanthus* (M. Arg.) Pax & K. Hoffm. In: **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas brasileiras arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, v.2, 2000.

LUQUE, R.; MELERO, J.A. **Advances in Biodiesel Production**. São Paulo: Woodhead, 2012.

MARTIN, C.A., ALMEIDA, V.V., RUIZ, M.R., VISENTAINER, E.L., MATSHUSHITA, M., SOUZA, N.E., VISENTAINER, J.V. **Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos**. Rev. Nutr. v.19, p. 761–770, 2006.

MASUCHI, M.H et al. **Quantificação de TBHQ (terc butil hidroquinona) e avaliação da estabilidade oxidativa em óleos de girassol comerciais**. Quím. Nova, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1053-1057, 2008.

MATTHAUS B, ÖZCAN M: **Glucosinolates and fatty acid, sterol and tocopherol composition of seed oils from *Capparis spinosa* var. *spinosa* and *Capparis ovata***. Desf. vr. *canescens* (Coss.) Heawood. J Agric Food Chem, v. 53, p. 7136–7141, 2005.

MAUL, A.; WASICKY, R. e BACCHI, E., **Extração por fluido supercrítico**. Revista Brasileira de Farmacognosia, v.5, p. 185-200, 2000.

MEDEIROS, J.M.S et al. **Chemical composition of faveleira (*Cnidoscopus phyllacanthus*) seeds collected in different seasons**. Revista Ceres, v. 65, n. 3, p.286-290, 2018.

MEIRELES, M.; ZAHEDI, G.; HATAMI, T. **Mathematical modeling of supercritical fluid extraction for obtaining extracts from vetiver root**, Journal of Supercritical Fluids, v. 49, p. 23-31, 2009.

MONTEIRO, J.M.G. **Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.** 2007. 314 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MOREAU, R. A.; POWELL, M. J.; SINGH, V. **Pressurized Liquid Extraction of Polar and Nonpolar Lipids in Corn and Oats with Hexane, Methylene Chloride, Isopropanol, and Ethanol.** *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 80, n. 11, p. 1063–1067, 2003.

MOURAFÉ, J. A.; HOLANDA, L. F. F.; MARTINS, C. B.; MAIA, G. A. **Estudos tecnológicos da faveleira, *Cnidocolus phyllacanthus* (Mart) Pax et Hoffm.** *Ciência Agrônômica*, Fortaleza – CE, v. 7, n. 1 e 2, p. 33- 37, 1977.

MOURA, T.F et al. **Influência do Processo Extrativo, Solvente e Tamanho da Partícula do Material Vegetal no Teor de Sólidos Totais da Solução Extrativa da *Schinus terebinthifolius Raddi*.** *Revista Fitos*, v. 1, n. 01, p. 74-79, jan. 2005.

MOREIRA JA, NUNES SFP, COSTA JTA, KOKAY L. **Ocorrência de faveleiro sem espinho no estado do Ceará, Brasil.** *Ver. Ciên. Agron.* 1974 dez; 4(1e2); 51-55.

MORETTO, E.; FETT, R. ***Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais.*** São Paulo: Livraria Varela, 1998.

MUIK, B.; LENDL, B.; MOLINA-DIAZ, A.; VALCARCEL, M.; AYORA-CANADA, M. J. **Two-dimensional correlation spectroscopy and multivariate curve resolution for the study of lipid oxidation in edible oils monitored by FTIR and FT-Raman spectroscopy.** *Analytica Chimica Acta*, v. 593, p.54-67, 2007.

NASCIMENTO, C.M. **Estudo de Modelos Matemáticos aplicados à cinética de extração de óleos em condições supercríticas.** 2017. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

NASCIMENTO, R.J.S. et al. **Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano**. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 498-502, 2008.

NÓBREGA, S.B. **A faveleira (*Cnidoscolus quercifolius*) como uma fonte alternativa na alimentação humana e animal no Semi-árido Paraibano**. Dissertação (Mestrado). UFPB. João Pessoa, 2001.

O'BRIEN, R. D. **Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications**. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 1998.

OLIVEIRA, D. M.; PIMENTEL, L.A.; ARAÚJO, J.A.S.; MEDEIROS, R.M.T.; DANTAS, A. F. M.; RIET-CORREA, F. **Intoxicação por *Cnidoscolus phyllacanthus* (Euphorbiaceae) em caprinos**. Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 28, n.1, p.36-42, 2008.

ONTANÓN, I.; SANZ, A.; ESCUDERO, A.; MARCOS, S.; FERREIRA, V.; GALBÁN, J.A. **Modified commercial Gas Chromatograph for the continuous monitoring of the thermal degradation of sunflower oil and off-line Solid Phase Extraction Gas Chromatography Mass Spectrometry characterization of released volatiles**. Journal of Chromatography A, v. 1388, p.52-59, 2015.

PANG, Y. et al. **Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice**. Food Chemistry, v. 240, p. 212–221, 2018.

PARDAUIL J; SOUZA, L; MOLFETTA, F; ZAMIAN, J; ROCHA, G; COSTA, C., **Determination of the oxidative stability by DSC of vegetable oils from the Amazonian area**. Bioresour. Technol, v. 102, p. 5873–5877, 2011.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**, Fortaleza: v. 66 p, 2003.

PIGHINELLI, A.L; MONTENEGRO T. et al. **Otimização da prensagem a frio de grãos de**

**amendoim em prensa contínua tipo expeller.** Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas, v. 28, p. 66-71, 2008.

QUEIROS, M. S.; PAGLARINI, C. S.; VIDAL, V. A. S.; POLLONIO, M. A. R. et al. **Determinação de tocoferóis em óleo de soja refinado e avaliação da estabilidade oxidativa.** In: Anais do simpósio latino americano de ciências de alimentos, 2015.

RAMALHO, H.F.; SUAREZ, P. A. Z. **A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino.** 2012. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v5n1a02.pdf>.

RAMALHO, V.C; JORGE, N. **Antioxidants used in oils, fats and fatty foods.** Quím. Nova, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RAMPAZZO, V. **Avaliação da degradação térmica de óleos vegetais por termogravimetria, cromatografia gasosa e espectroscopia de infravermelho médio.** 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

REZENDE, D. R. SOUZA, L. F. NUNES, D. E. B. M. R; ZUPPA, T. O; ANTONIOSI FILHO, N. R. **Caracterização de Ácidos Graxos e Triacilglicerídeos de Óleos Vegetais com Potencial Econômico de Produção de Biodiesel na Região Centro Oeste.** I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. v. 1, 2006.

RIBEIRO FILHO, N. M.; CALDEIRA, V. P. S.; FLORÊNCIO, I. M.; AZEVEDO, D. O.; DANTAS, J. P. **Avaliação comparada dos índices químicos nitrogênio e fósforo nas porções morfológicas dos espécimes de faveleira com espinhos e sem espinhos.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.9, n.2, p.149-160, 2007.

RIBEIRO, P.P.C. **Características físico-químicas do óleo da semente de faveleira (*Cnidoscolus quericifolius*) e avaliação das propriedades bioativas da semente, do óleo e da torta.** 2015. 69 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Nutrição, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

RIERA, E. et al. **Mass transfer enhancement in supercritical fluids extraction by means of power ultrasound**. Ultrasonics Sonochemistry, v. 11, n. 3–4, p. 241–244, 2004.

RODRIGUES, F. M. G. SOUZA, A. G. SANTOS, I. M. G. BICUDO, T. C. SILVA, M. C. D. SINFRÔNIO, F. S. M. VASCONSELOS, A. F. F. **Antioxidative properties of hydrogenated cardanol for cotton biodiesel by PDSC and UV/Vis**. J Therm Anal Calorim, v. 97, p. 605, 2009.

SALLET, C. ALVIM, A. **Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil**. Economia & Tecnologia, v. 25. p. 1-13, 2011.

SANTOS, J. C. O.; SANTOS, I. M. G.; CONCEIÇÃO, M. M.; PORTO, S. L.; TRINDADE, M. F.S.; SOUZA, A. G.; PRASAD, S.; FERNANDES, V. J. ARAÚJO, A. S. **Thermo analytical, kinetic and rheological parameters of comercial edible vegetable oils**. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 75, p. 419-428, 2004.

SANTOS, J. C. O.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. **Effect of heating and cooling on rehological parameters of edible vegetable oils**. Journal of Food Enginnering, v. 67, n. 4, p. 401-405, 2005.

SANTOS, K.A., FILHO, O.P.A., AGUIAR, C.M., MILINSK, M.C., SAMPAIO, S.C., PALÚ, F., DA SILVA, E.A. **Chemical composition, antioxidant activity and thermal analysis of oil extracted from favela (*Cnidocolus quercifolius*) seeds**. Industrial Crops and Products, v. 97, p.368-373, 2017.

SCHMIDT, S., POKORNY, J. **Potential application of oil seeds as sources of antioxidants for food lipids – a review**, Czech. J.Food Sci., p. 23,93–102, 2005.

SERRA, A. T. et al. **Processing cherries (*Prunus avium*) using supercritical fluid technology. Part 1: recovery of extract fractions rich in bioactive compounds**. Journal of Supercritical Fluids, New York, v. 55, p. 184-191, 2010.

SILVA, G. K. C.; RAMALHO, S. A.; GUALBERTO, N. C.; GOMES, E. B.; MIRANDA, R.

C. M.; NARAIN, N. **Utilização de Resíduo Agroindustrial como Matéria Prima Para a Produção de Ácido Cítrico por *Kluveromyces marxianus***. Scientia plena, v. 8, n. 5, 2012.

SILVA, H.P. **Óleos e gorduras: Características sensoriais, físico-químicas e seu papel na técnica dietética**. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Nutrição, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SIMÕES, C. M. O., GOSMANN, G., SCHENKEL, E.P. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999. 821 p.

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.

SOCCOL, C. R.; PRADO, F. C.; VANDENBERGHE, L. P. S.; PANDEY, A. **General aspects in citric acid production by submerged and solid-state fermentation**. Process Biochemistry, p.652-664, 2003.

SOLOMONS, T.W.; FRYHLE, C.B. **Química Orgânica I**. Volume 1, 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC. 2005.

SOUZA B.B, BATISTA N.L; OLIVEIRA G.J.C. **Utilização da faveleira (*Cnidioscolus phyllacanthus*) como fonte de suplementação alimentar para caprinos e ovinos no semiárido brasileiro**. Agropecuária Científica no Semi-Árido, 8, p. 23-27, 2012.

SOUZA, A. G. SANTOS, J. C. O. CONCEIÇÃO, M. M. SILVA, M. C. D. Prasad, S.A. **Thermoanalytic and Kinetic Study of Sunflower Oil**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.21, n. 2, p.265-273, 2004.

SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. **Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits**. Food Chemistry, v. 134, n. 1, p. 381-386, 2012.

STORCH, T. T.; CRUZ, J. M.; GETTENS, C. S.; OLIVEIRA, T. P.; SILVA, M. T. **Grau de**

**acidez em óleo de girassol por prensagem.** *In:* XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós-Graduação Pelotas. Rio Grande do Sul. 2008.

VAZ, Juliana dos Santos et al. **Ácidos graxos como marcadores biológicos da ingestão de gorduras.** *Rev. Nutr., Campinas, v. 19, n. 4, p. 489-500, 2006.* Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-8876-2006-04](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-8876-2006-04)>.

VERAS, G. et al. **Classificação de biodiesel na região do visível.** *Quím. Nova, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 315-318, 2012.*

ZENEBO, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4. Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ZULKAFI, D., WANG, H., MIYASHITA, F., UTSUMI, N., TAMURA, K. **Cosolvent modified supercritical carbon dioxide extraction of phenolic compounds from bamboo leaves (*Sasa palmata*)** *Zed. The Journal of Supercritical Fluids, v. 94, p. 123-129, 2014.*

WOERFEL, J. B. *Extraction.* (In: OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B; SPOTO, M. H.; **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** São Paulo: Ed. Manole, 2006).

WUST, E. **Estudo da viabilidade técnico científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos.** 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional do Paraná, Blumenau, 2004.