



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

MARCOS PAULO CHIQUETO DE SOUZA

**Estudo cinético da extração de óleos da *Pachira Aquática* (munguba),
Abelmoschus Esculentus (Quiabo) e *Solanum gilo Raddi* (jiló) utilizando CO₂
supercrítico para produção de Biodiesel.**

Rosana - SP

2022

Marcos Paulo Chiqueto de Souza

**Estudo cinético da extração de óleos da *Pachira Aquática* (munguba),
Abelmoschus Esculentus (Quiabo) e *Solanum gilo Raddi* (jiló) utilizando CO₂
supercrítico para produção de Biodiesel.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenadoria de Curso de
Engenharia de Energia da Faculdade de
Engenharia e Ciências (FEC) de Rosana,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em Engenharia de
Energia.

Orientador(a): Leandro Ferreira Pinto

Rosana - SP

2022

S729e Souza, Marcos Paulo Chiqueto de
Estudo cinético da extração de óleos da Pachira Aquatica (Monguba), Abelmoschus Esculentus (Quiabo) e Solanum Gilo Raddi (Jiló) utilizando CO2 supercrítico para produção de biodiesel / Marcos Paulo Chiqueto de Souza. -- Rosana, 2022
41 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientador: Leandro Ferreira Pinto

1. Fluido supercrítico. 2. CO2. 3. Munguba. 4. Quiabo. 5. Jiló. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MARCOS PAULO CHIQUETO DE SOUZA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO

PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Flavio Camargo Cabrera
UNESP - Rosana

M.Sc. Guilherme de Souza Lopes
UNESP – Ilha Solteira

Dezembro 2022

Dedico este trabalho
de modo especial, à minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter guiado meus caminhos nesta árduo e gloriosa missão. E aos meus pais e minha avó por todo apoio nestes 5 anos, e minha namorada que não faltou incentivos, amor e carinho para continuar nessa difícil fase que foi a pandemia. Aos meus queridos amigos da república Zaubar (Feijão, Diogo, Felipe, Roça) e aos nossos queridos agregados Meneiz, Tubies e Catuaba, por todo ensinamento e acolhimento ao ingressar na faculdade. E aos meus amigos da república ROMA (Brisa, Isabela e Toalha) onde morei nos meus últimos 3 semestres da faculdade.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco, à medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dúvida.”

Goethe

RESUMO

Extratos de plantas e produtos naturais isolados são amplamente utilizados como matérias-primas nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. A extração com solvente orgânico e a destilação a vapor são os métodos de extração mais comumente usados para extratos. No entanto, a baixa seletividade, o uso de solventes orgânicos e a destilação a vapor constituem problemáticas nesses métodos.

Portanto, a extração com fluido supercrítico, uma técnica pouco estudada, tornou-se uma alternativa aos métodos convencionais de extração. As vantagens da extração supercrítica incluem menor incidência de degradação térmica dos extratos, ausência de resíduos de solvente nos extratos e extração com fluido supercrítico reutilizável e especialmente a possibilidade de ajustar as variáveis do processo.

A extração com fluido (CO_2) supercrítico proporciona produtos isentos de solventes residuais, nestas condições, o CO_2 supercrítico, adquire uma densidade similar de um líquido e simultaneamente uma compressibilidade próxima de um gás, tendo, uma maior difusividade, menor viscosidade e menor tensão superficial em relação ao solvente líquido, contudo, faz dos fluidos supercríticos um meio de processamento adequado para técnicas de extração e separação. Durante a execução do projeto, foi realizado ensaios experimentais para o estudo cinético realizado a partir da extração supercrítica do óleo da semente de Munguba, Quiabo e Jiló. As extrações foram realizadas sob condições de pressão e temperaturas respectivamente de 200 bar, 240 bar, 280 bar, 40 °C, 50 °C, 60 °C e vazão de CO_2 de $2,0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, utilizando um planejamento fatorial 2^2 para auxiliar na realização dos experimentos. Os maiores rendimentos da extração no método supercrítico para a munguba, quiabo e jiló foram de 45,87%, 12,16% e 13,42%, respectivamente, obtidos sob pressões e temperaturas, 280 bar; 40°C para munguba e quiabo, 280 bar; 60 °C para o jiló, por um período de 80 minutos.

PALAVRAS-CHAVE: Fluido supercrítico. CO_2 . Munguba. Quiabo. Jiló.

ABSTRACT

Plant extracts and isolated natural products are widely used as raw materials in the pharmaceutical, cosmetic and food industries. Organic solvent extraction and steam distillation are the most commonly used extraction methods for extracts. However, low selectivity, the use of organic solvents and steam distillation are problematic in these methods.

Therefore, supercritical fluid extraction, a little studied technique, has become an alternative to conventional extraction methods. The advantages of supercritical extraction include less incidence of thermal degradation of the extracts, absence of solvent residues in the extracts and extraction with reusable supercritical fluid and especially the possibility to adjust the process variables.

Extraction with supercritical fluid (CO₂) provides products free of residual solvents. with respect to the liquid solvent, however, it makes supercritical fluids a suitable processing medium for extraction and separation techniques. During the execution of the project, experimental tests were carried out for the kinetic study carried out from the supercritical extraction of oil from the seed of Munguba, Okra and Jiló. The extractions were performed under conditions of pressure and temperature respectively of 200 bar, 240 bar, 280 bar, 40 °C, 50 °C, 60 °C and CO₂ flow rate of 2.0 mL.min⁻¹, using a factorial design 2² to assist in carrying out the experiments. The highest extraction yields in the supercritical method for munguba, okra and eggplant were 45.87%, 12.16% and 13.42%, respectively, obtained under pressures and temperatures, 280 bar; 40 °C for munguba and okra, 280 bar; 60 °C for eggplant, for a period of 80 minutes.

KEYWORDS: Supercritical fluid. CO₂. Munguba. Okra. Scarlet eggplant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Pachira Aquática (Munguba)-----	15
Figura 2. Abelmoschus Esculentus (Quiabo)-----	16
Figura 3. Solanum gilo Raddi (jiló) -----	17
Figura 4. Diagrama de Fases substância pura-----	19
Figura 5. Curva de extração em três períodos-----	21
Figura 6. Processo laboratorial de extração por Soxhlet -----	23
Figura 7. Esquema de uma unidade experimental de extração supercrítica: 1 – Cilindro de CO ₂ , 2 – Bomba tipo seringa, 3 – Banho termostatizado, 4 – Indicador de pressão, 5 – Controlador/Indicador de temperatura, 6 – Extrator, 7 – Válvula, 8 – Válvula tipo agulha.-----	24
Figura 8. Unidade Laboratorial de extração supercrítica -----	24
Figura 9:Curvas cinéticas de extração para a munguba -----	28
Figura 10: Curvas cinéticas de extração para a Quiabo-----	30
Figura 11:Curvas cinéticas de extração para a Jiló-----	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades do Fluido Supercrítico -----	20
Tabela 2: Fatores e níveis para o planejamento fatorial 2 ² com ponto central -----	25
Tabela 3: Condições experimentais e resultados obtidos para a extração da munguba por CO ₂ supercrítico -----	27
Tabela 4: Resultados obtidos para extração com Soxhlet -----	27
Tabela 5: Condições experimentais e resultados obtidos para a extração do Quiabo por CO ₂ supercrítico -----	29
Tabela 6: Condições experimentais e resultados obtidos para a extração do Jiló por CO ₂ supercrítico -----	31

LISTA DE SÍMBOLOS

GEE	Gases de efeito estufa
CO_2	Dióxido de Carbono
OEs	Óleos Essenciais
SCF	Supercritical Fluid
T_c	Temperatura Crítica
P_c	Pressão Crítica
H_2O	água
K	Kelvin
Mpa	Mega pascal
P	Pressão
ESC	Extração supercrítica
CER	Constant Extraction Rate Period
FER	Falling Extraction Rate Period
DC	Diffusion Controlled
°C	Graus Celsius
mL	mililitro
Y	Rendimento total da extração
M_{fa}	Óleo Extraído
M_f	Peso do frasco
M_a	Valor pesado da matéria prima

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Geral.....	14
2.2. ESPECÍFICO.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1. <i>Pachira Aquática</i> (Munguba)	15
3.2. <i>Abelmoschus esculentus</i> (Quiabo)	15
3.3. <i>SOLANUM Gilo Raddi</i>	17
3.4. ÓLEOS ESSENCIAS.....	18
3.5. Fluido Supercrítico.....	18
3.6. Extração supercrítica	20
4. METODOLOGIA	22
4.1. Amostras	22
4.2. Extração com Soxhlet.....	22
4.3. Extração Supercrítica (ESC).....	23
4.4. Cinética de extração - Modelo de Sovová	25
4.5. CÁLCULO dos rendimentos das extrações	26
5. RESULTADOS	27
5.1. Munguba	27
5.2. Quiabo.....	29
5.3. Jiló	30
6. CONCLUSÃO	33
7. REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

Com o atual cenário climático, a crescente preocupação mundial para a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE), como os danos ambientais causados pelos combustíveis fósseis, buscando um denominador comum entre o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável. Os GEE são os principais causadores de grandes alterações climáticas, causando o aquecimento global, assim prejudicando o futuro da humanidade [5] .

A munguba é uma oleaginosa pertencente à subfamília Bombacoideae da família Malvaceae, provinda do sul do México até a área Norte da América do Sul, natural de matas ciliares e terrenos alagadiços, porém, possuem características que facilitam sua adaptação em solos menos úmidos e diferentes climas. a sua alta concentração de ácidos graxos saturados a torna uma alternativa para a obtenção de biodiesel obtido a partir do óleo da semente de munguba. O Quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.) é uma hortaliça da família botânica Malvaceae, cultura alimentar anual de estação quente, amplamente cultivada nos trópicos e subtropicais [1,2]. O jiloeiro (*Solanum gilo* Raddi), também conhecido como Berinjela Escarlate ou Berinjela Vermelha Brasileira [3], é um fruto proveniente da África e Índia, introduzido no Brasil pelos escravos, pertencente à família Solanaceae, predominante em regiões tropicais e subtropicais da América do Sul [4].

Os biocombustíveis são fontes renováveis de energia, gerando menor emissão de GEE, quando comparado a combustíveis fósseis, como o biodiesel. Tal apresenta baixa toxicidade, biodegradável, emite enxofre e compostos aromáticos em baixa intensidade [6].

Diante deste cenário, intensificou-se as abordagens de técnicas sustentáveis para extração de compostos bioativos de matérias primas vegetais, com alto rendimento, qualidade e baixo custo, portanto, o presente trabalho visa otimizar as técnicas para a extração utilizando um fluido supercrítico.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Este trabalho tem por objetivo a avaliação do rendimento e da composição química de extratos oriundos das sementes obtido com a utilização do dióxido de carbono no estado supercrítico como solvente.

2.2. ESPECÍFICO

- i. Extração de óleos das sementes de munguba com CO₂ supercrítico e avaliação dos efeitos da temperatura e pressão na solubilidade e no rendimento;
- ii. Obtenção das cinéticas de extração dos óleos extraídos óleo avaliando o efeito de variáveis de processo (temperatura, pressão e densidade) sobre o rendimento em óleo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. *Pachira Aquática (Munguba)*

A planta *Pachira Aquatica Aublet* pertence à família *Bombacaceae*, mas passou a ser incluída na família *Malvaceae*, de acordo com o sistema de categorização proposto pelo APG II (*Angiosperm Phylogeny Group*), conhecida popularmente como monguba, munguba, amendoim francês ou castanha da Guiana [7,8] . É uma árvore originalmente das Américas do Sul e Central, atinge de 6 a 14 metros de altura [9] , e tem frutos que podem ser consumidos de várias formas, como frescos, assados ou mesmo cozido [7], conforme Figura 1.

Figura 1. *Pachira Aquática (Munguba)*



As sementes de Munguba apresentam alto teor de lipídios (38 e 53%) [7], composta principalmente de ácido palmítico (49 e 80%) [10] A alta concentração de ácidos graxos saturados confere ao óleo de munguba um estado sólido à temperatura ambiente. A composição única de ácidos graxos torna a munguba um material muito interessante para aplicação em diversas formulações, sendo uma delas a aplicação em biocombustíveis [10,11].

3.2. *Abelmoschus esculentus (Quiabo)*

O Quiabo (*Abelmoschus esculentus L.*) é uma hortaliça da família botânica *Malvaceae*, cultura alimentar anual de estação quente, amplamente cultivada nos trópicos e subtropicais [1,2]. Conhecida mundialmente como Dedo de Senhora, dharos, kacang bendi, qiu kui, okura, okro, quiabos, ochro, quiabo, okoro, gumbo, quimgombo, bamieh, bamya, quingumbo, bamia, bendi, gombo, bhindi, kop arab e lai

long magma [12]. As flores estão localizadas nas partes axilares; eles têm cinco pétalas brancas e amarelas, com um centro violeta escuro e avermelhado. As sementes estão dispostas em fileiras dentro do fruto, verde-escuras a cinzas [13]. O fruto está sendo representada na Figura 2.

Figura 2. *Abelmoschus Esculentus* (Quiabo)



O Quiabo possui ação antioxidante [14] imunomoduladora, antifadiga [15] e antidiabética (hipoglicemia), portanto, tem a capacidade de controlar o nível de colesterol no corpo humano [16].

Além disso, a semente é uma fonte de proteína necessários para múltiplos propósitos da dieta humana [17,18]. Diversos estudos mostraram que as sementes de quiabo contêm 21,72% de óleo bruto, 31,4% de fibra bruta e 27% de proteína bruta (em média) [19–21], segundo Lee et al [22] o rendimento do óleo da semente, a partir da extração de transesterificação, é de 16,4%. O óleo de semente de quiabo é muito semelhante ao óleo de semente de algodão e amendoim; possui alto teor de ácidos palmítico, oleico e linoleico [20,21].

As sementes de vagens de quiabo maduras, às vezes usadas para alimentação de aves, também são consumidas após a torrefação e como substituto do café. Estes são considerados um estimulante estomacal, antiespasmódico e nervura [16]. As sementes de quiabo têm sido utilizadas em pequena escala para a produção de óleo. Andras et al. [13] relataram que a semente de quiabo da Grécia é uma fonte potencial de óleo com concentração variando de 15,9% a 20,7%. O óleo consistia principalmente em ácido linoleico (até 47,4%). Savello et al. [17] encontraram o óleo de semente de quiabo como uma das ricas fontes de ácidos graxos insaturados.

Alguns outros estudos também revelaram o potencial da semente de quiabo como fonte de óleo e proteína tanto para as regiões temperadas quanto para os trópicos [12,18].

3.3. *SOLANUM Gilo Raddi*

O jiloeiro (*Solanum gilo Raddi*), também conhecido como Berinjela Escarlate ou Berinjela Vermelha Brasileira [3], é um fruto proveniente da África e Índia, introduzido no Brasil pelos escravos, pertencente à família Solanaceae, predominante em regiões tropicais e subtropicais da América do Sul [4], e possui considerável importância econômica, além do mesmo, várias espécies do gênero são cultivadas para alimentação, como *S.tuberosum* L. (batata), *S.lycopersicum* L. (tomate), *S.melongena* L. (berinjela) [23].

No Brasil, essa fruta é utilizada na medicina tradicional na fermentação do conhaque, visando combater resfriados, febres e gripes, também é indicada na alimentação saudável, devido ao seu baixo valor calórico e grande quantidade de minerais, como o cálcio, fósforo, ferro e vitaminas C e B5 [24]. O fruto está representado na Figura 3.

Figura 3. *Solanum gilo Raddi* (jiló)



Os frutos do jiloeiro contêm cerca de 92,5% de água, 1,0% de proteína, 0,3% de gordura e 6% de carboidrato, englobando flavonoides, alcaloides e esteroides, apresentando atividades antioxidantes com capacidade de reduzir os níveis de

colesterol [4].

Encontrar sementes de alta qualidade é essencial para obter uma boa planta [25]. A produção e a qualidade da semente são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes na planta, pois afeta a formação do embrião e órgãos armazenados, bem como a composição química e, portanto, o metabolismo e a energia [26].

3.4. Óleos essenciais

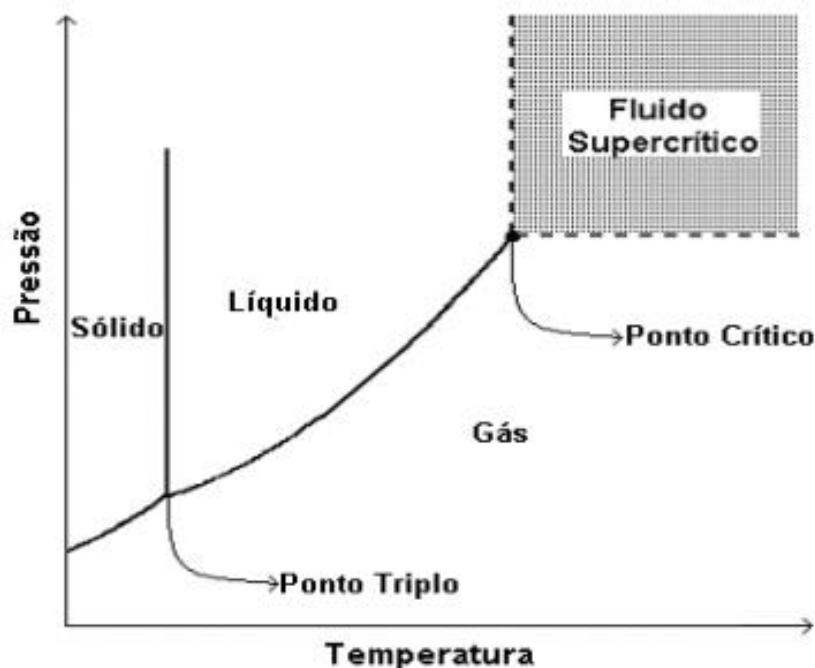
Os óleos essenciais (OEs) representam uma pequena parcela da constituição das plantas, tem sido amplamente utilizado em muitas indústrias, incluindo cosméticos, alimentos, e produtos farmacêuticos. Portanto, a produção e consumo mundial deste composto está crescendo rapidamente devido o interesse do consumidor em seus efeitos biológicos (atividades antioxidantes, antimicrobianas e antivirais antitumorais). De todas as propriedades, as de maior interesse são aquelas para uso medicinal, incluindo sua capacidade de atuar como estimulantes do sistema nervoso central, além disso, vale destacar as suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antibacterianas, antivirais e antifúngicas [27,28].

A composição química dos óleos essenciais é derivada de terpenos e compostos oxidantes, como os hidrocarbonetos, ácidos graxos, esteróis, carotenoides, ceras e flavonoides, são compostos complexos e voláteis caracterizados por odores fortes [27,29].

3.5. Fluido Supercrítico

Fluido supercrítico (SCF- Supercritical Fluid) é qualquer substância em uma temperatura e pressão acima do seu ponto crítico (T_c e P_c) [30]. A P_c é definida como a pressão máxima que um líquido pode ser convertido em um gás pelo aumento de temperatura. De maneira análoga, T_c é considerada a temperatura máxima na qual um gás pode ser convertido a um líquido pelo aumento de pressão. Portanto, nessas condições o fluido supercrítico adquire uma densidade similar à de um líquido e simultaneamente uma compressibilidade próxima de um gás [31], a Figura 4 abaixo apresenta o diagrama de fases de uma substância pura.

Figura 4. Diagrama de Fases substância pura



Fonte: Adaptado [31].

Adicionalmente, o fluido em condições supercríticas possui um maior poder de solvatação, sendo assim, a uma elevada taxa de transferência de massa dos solutos no fluido no estado supercrítico, acarretando uma maior difusividade, menor viscosidade e menor tensão superficial em relação ao solvente líquido, ocasionando na alta permeação do fluido na amostra, promovendo uma extração completa em um curto espaço de tempo, fazendo dos fluidos supercríticos um meio de processamento adequado para técnicas de extração e separação [32–35].

Os fluidos supercríticos mais comumente são o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O). A água, que ao contrário do CO_2 , apresenta temperaturas e pressão críticas bastante elevadas [36]. Em relação ao CO_2 , o seu ponto crítico é considerado baixo quando comparado ao da água, estando a 304,25K e 7,38 MPa, enquanto a água crítica está a 374,2K e 22,05 MPa. Na Tabela 1 é apresentada uma as propriedades críticas de diferentes solventes.

Tabela 1: Propriedades do Fluido Supercrítico

Solvente	Temperatura Crítica [°C]	Pressão Crítica [bar]	P (kg/m³)
Acetileno	36	62,47	232,14
Água	374	220,9	322,6
CO ₂	31	73,86	467,6
Etanol	240,4	61,4	276
Etileno	9	50,4	195,8
Metano	-83	45,95	161,43

Fonte: [37]

Em relação a sustentabilidade ambiental, o CO₂ é uma substância não toxica, que pode ser reciclado, não corrosivo, barato, facilmente removido, tempos de extração curta, alta seletividade, não deixa resíduos e ajuda a prevenir degradação térmica de certos componentes químicos dos alimentos quando são extraídos, resultando em extratos de alta qualidade [31,38,39].

3.6. Extração supercrítica

A extração supercrítica (ESC) considera os mesmos parâmetros operacionais de transferência de massa (propriedades físico-químicas do solvente/soluto, substâncias, regime de fluxo, efeito de mistura, solubilidade, afinidade química, entre outros) de um processo de extração convencional [40,41].

As curvas de extração supercrítica são determinadas pela massa de extrato ou pelo rendimento em função do tempo ou da massa de solvente utilizada [31]. O estudo das curvas de extração supercrítica permite a determinação dos parâmetros de processo como: tempo total de extração, caracterização das diferentes etapas da extração que serão posteriormente empregadas para a determinação do rendimento global de extração, determinação da solubilidade e modelagem da transferência de massa do sistema [41].

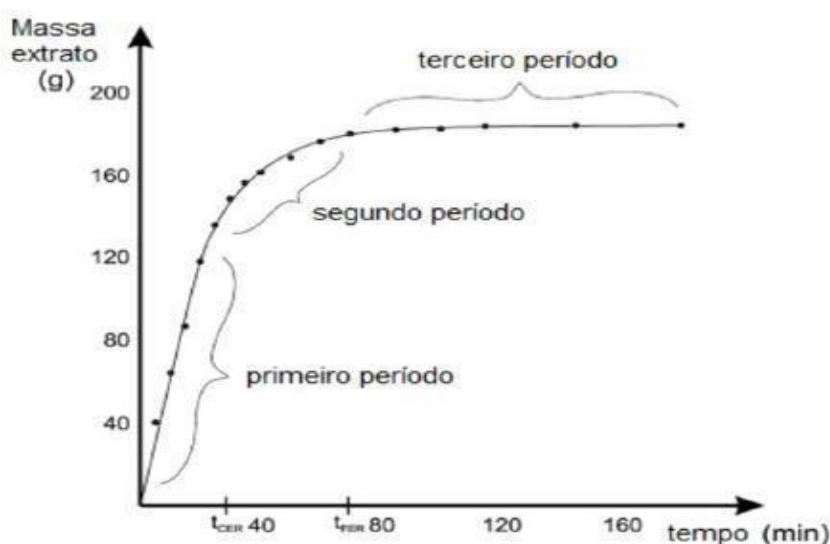
As curvas globais de extração expressam o comportamento cinético de um determinado processo de extração, onde a quantidade de extrato coletada durante o processo é plotada em função do tempo ou da quantidade de solvente utilizada [42]. O estudo da curva de extração auxilia na definição do volume do extrator, da vazão requerida dos solventes para a taxa de extração desejada e para obtenção de

parâmetros como: tempo mínimo de extração, caracterização das etapas de extração, determinação da solubilidade e modelagem da transferência de massa do sistema[43], que fornecem informações importantes relativas ao dimensionamento industrial de uma unidade de extração com fluido supercrítico.

As curvas de extração podem ser divididas em três etapas, conforme Figura 5, controlados por diferentes mecanismos de transferência de massa [44–46]:

- Período de taxa constante de extração (CER - Constant Extraction Rate Period), onde a superfície externa do sólido está completamente coberta pelo soluto, representa a extração de substratos que são de fácil acesso ao solvente. O solvente retira esta camada superficial em um processo de transferência de massa majoritariamente influenciada pelo efeito convectivo;
- Período de taxa decrescente de extração (FER - Falling Extraction Rate Period), onde aparecem falhas nas camadas superficiais de soluto que recobrem o sólido;
- Período de taxa de extração controlada pela difusão (DC - Diffusion Controlled), onde ocorre a difusão da mistura soluto/solvente no sólido, ou retirada do soluto que está na parte interna da partícula.

Figura 5. Curva de extração em três períodos



Fonte: [47].

A otimização do processo de extração supercrítica ou com fluidos pressurizados requer o conhecimento de dados termodinâmicos (solubilidade e seletividade) e de valores cinéticos (coeficientes de transferência de massa).

4. METODOLOGIA

4.1. Amostras

As sementes de Monguba e Quiabo, foram coletadas no município de Suzanópolis, no estado de São Paulo, Brasil. Entretanto, as sementes de jiló foram coletadas no município de Rosana, estado de São Paulo, Brasil. As amostras foram cortadas com o auxílio de uma faca, e foi feita a retirada das sementes, logo após, as sementes foram colocadas na estufa a 60 °C por 72 h, para o processo de secagem, em seguida, foram transformadas em farinha usando um liquidificador doméstico, sendo padronizada utilizando uma peneira Tyler (Granutest, Brasil) de 20 mesh.

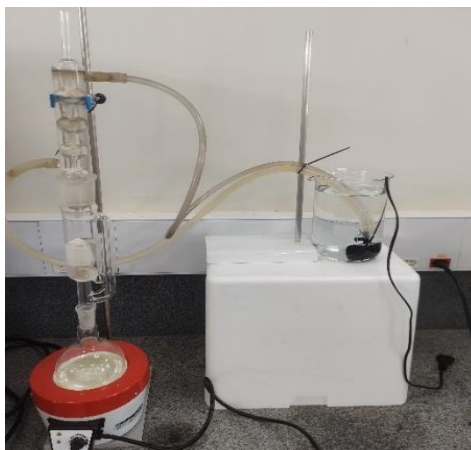
4.2. Extração com Soxhlet

As extrações foram realizadas utilizando solvente orgânicos, Álcool Etílico (Etanol) e Álcool Metílico (Metanol), para todas as oleaginosas, de acordo com o método AOAC 920.39, com o objetivo de determinar o percentual de óleo presente nas amostras.

Para a realização das extrações com solvente orgânico Soxhlet foi utilizado etanol e metanol como solventes extrativos. Foram pesadas alíquotas de aproximadamente 0,005 kg das oleaginosas e, em processos separados foram colocadas em um cartucho de papel filtro.

O papel filtro contendo a massa da matéria prima foi colocado no extrator, sendo acoplado a um balão de fundo chato, adicionando 150 mL do solvente (Álcool Etílico ou Álcool Metílico), onde-se o conjunto foi aquecido por uma manta térmica (Fisatom Mod.52E Série. 2070543). Ao ser resfriado na região do condensador, o solvente goteja sobre o material promovendo a extração, sendo submetido à extração por 360 min. O solvente orgânico foi removido do extrator usando evaporação rotativa a vácuo a 50 °C. O aparato de extração é apresentado na Figura 6.

Figura 6. Processo laboratorial de extração por Soxhlet



4.3. Extração Supercrítica (ESC)

As condições experimentais de pressão, vazão e temperatura foram escolhidas previamente, conforme experimentos preliminares e trabalhos reportados da literatura. Os ensaios experimentais foram conduzidos a partir de unidade de extração de bancada composta por um cilindro de CO₂, um banho termostaticado, uma bomba seringa (ISCO 260D, EUA), um vaso de extração encamisado construído em aço 304 (1,90 cm de diâmetro e 16,8 cm de altura), um transdutor de pressão absoluta (Smar LD301, Brasil), os equipamentos estão esquematizados na Figura 7 e 8. A metodologia de operação a unidade experimental foi baseada no estudo e análise das configurações apresentadas na literatura [11,36,42,43,48].

Figura 7. Esquema de uma unidade experimental de extração supercrítica: 1 – Cilindro de CO₂, 2 – Bomba tipo seringa, 3 – Banho termostatzado, 4 – Indicador de pressão, 5 – Controlador/Indicador de temperatura, 6 – Extrator, 7 – Válvula, 8 – Válvula tipo agulha.

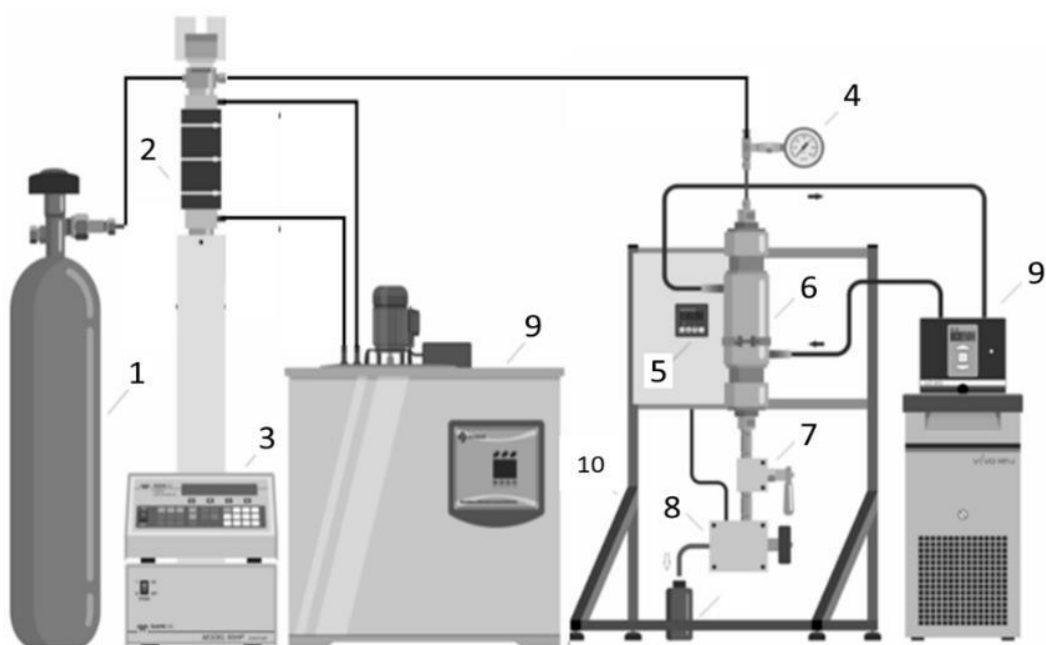


Figura 8. Unidade Laboratorial de extração supercrítica



Deste modo, as extrações foram realizadas para pressões de 20, 24, 28 MPa, temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C e vazão volumétrica de CO₂ de 2,0 mL.min⁻¹, a partir de um planejamento fatorial 2² com triplicata no ponto central (Tabela 2). A taxa de fluxo de 2,0 mL.min⁻¹ de solvente foi controlada por uma válvula micrométrica (Parker Autoclave Engineers, EUA) mantida a 60 °C. O extrato total foi coletado em frascos de vidro e pesados em 6 ciclos iniciais de 5 min e 5 ciclos de 10 min.

Tabela 2: Fatores e níveis para o planejamento fatorial 2² com ponto central

Fatores	Símbolos	Unidades	Níveis		
			-1	0	+1
Temperatura	T	°C	40	50	60
Pressão	P	bar	200	240	280

O extrator foi alimentado uniformemente com aproximadamente 0,005 Kg de matéria prima (semente de munguba), enquanto para o Quiabo e Jiló foi sustentado com aproximadamente 0,003 kg da semente trituradas das oleaginosas, o espaço vazio da célula de extração foi preenchido com esferas de vidro (leito inerte). O CO₂ fornecido ao extrator passou inicialmente pelo leito inerte e depois pela semente moída. Ao atingir a temperatura desejada para extração, a bomba e o extrator foram pressurizados simultaneamente. Prontamente, com a pressão operacional atingida, o sistema foi deixado em repouso por 30 minutos para alcançar o equilíbrio e garantir que o solvente estivesse saturado no início da extração.

4.4. Cinética de extração

O modelo empírico de Sovová considera que existem dois estágios de transferência de massa e três períodos distintos de extração. No primeiro período, ocorre a extração de óleo de fácil acesso. Esta etapa depende da solubilidade na fase fluida e, é caracterizada por uma curva linear com declividade próxima ao valor da solubilidade do óleo no solvente. Em seguida, ocorre uma diminuição na taxa de extração, seguida pela extração do óleo dificilmente acessível, que é controlada por um mecanismo de difusão interno, e posteriormente, no terceiro período, a curva de extração torna-se quase linear com uma taxa de extração muito menor do que em o primeiro período.

4.5. Cálculo dos rendimentos das extrações

O rendimento da extração foi determinado gravimetricamente por balança analítica e calculado como uma razão entre a massa total extraída e a massa inicial de munguba no extrator (base seca), como é apresentado na Equação 1.

$$Y = \frac{M_{fa} - M_f}{M_a} * 100 \quad (1)$$

Onde:

M_{fa} : É o valor pesado do óleo extraído

M_f – Valor pesado do frasco utilizado

M_a - Valor pesado da amostra da matéria prima.

5. RESULTADOS

5.1. Munguba

Os experimentos supercríticos foram efetuados com a semente de munguba triturada, manuseando o extrator com cerca de 0,005 kg da amostra. O rendimento global (Y) das extrações supercríticas foi obtido pela relação entre a massa do extrato obtido no final da extração (M_{fa}) e a semente de munguba (Ma) imposta no extrator de leito fixo. Portanto, as condições experimentais e os rendimentos totais obtidos utilizando CO₂ supercrítico estão dispostos na Tabela 3. Notou-se que o percentual de rendimento ficou entre 19,98% e 45,87% para o tempo total de extração (80 min). Para o método convencional (Extração Soxhlet) utilizando solvente orgânico Etanol e metanol, alcançou um percentual de 37,27% e 23,95%, respectivamente, para o tempo total de extração (360 min), dispostos na Tabela 4.

Tabela 3: Condições experimentais e resultados obtidos para a extração da munguba por CO₂ supercrítico

Experimento	Temperatura (°C)	Pressão (bar)	Tempo (min)	Rendimento total (%)
1	40	200	80	28,60
2	60	200	80	19,98
3	40	280	80	45,87
4	60	280	80	28,59
5-7	50	240	80	27,74

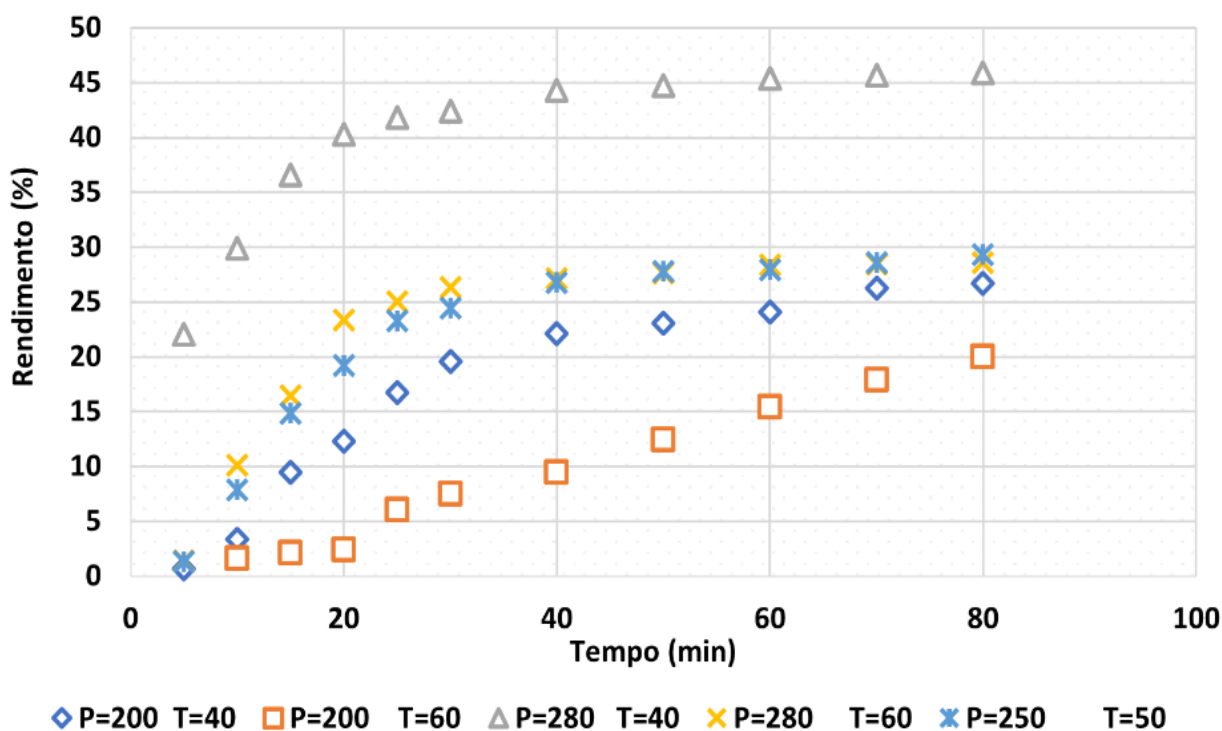
Tabela 4: Resultados obtidos para extração com Soxhlet

Experimento	Solvente	Tempo (min)	Rendimento total (%)
1	Álcool Etílico	360	36,04
2	Álcool Etílico	360	37,37
3	Álcool Metílico	360	23,84
4	Álcool Metílico	360	23,95

Em uma comparação entre a extração supercrítica e a convencional, verifica-se que a extração supercrítica é mais viável, além de extrações com maior percentual de rendimento, o tempo de extração também é inferior, devido a elevada taxa de transferência de massa dos solutos no fluido supercrítico, apropriado a sua maior

difusidade, menor viscosidade e menor tensão superficial, tornando-a adequada para técnicas de extração e separação.

Figura 9:Curvas cinéticas de extração para a munguba



Na extração supercrítica existe três etapas de extração controlados por diferentes mecanismos de transferência de massa. A primeira etapa, ocorreu entre 0 e 20 min de extração, onde a superfície externa da amostra estava completamente coberta pelo soluto e havia uma taxa de extração constante, facilitando a extração de substratos de fácil acesso ao solvente, caracterizada por uma curva linear com inclinação próxima ao valor da solubilidade do óleo no solvente. Entre 20 e 40 minutos, sucede a segunda etapa, onde acontece o pico da extração e posteriormente a diminuição da taxa de extração, aparecendo falhas na camada externa do soluto da superfície da matriz, iniciando o mecanismo de difusão que atua juntamente com a convecção, conjuntamente ocorre a extração do óleo de difícil acesso. Subsequentemente transcorre a terceira etapa, a curva se torna praticamente linear, com pequenas alterações na porcentagem de extração, sendo inteiramente controlada pela difusão da mistura soluto/solvente, tornando possível a retirada do soluto que está na parte interna da partícula.

Deste modo, observou-se que a maior parte dos extratos foram extraídos nos

primeiros 40 minutos, após esse período desenrolou-se a estabilização da extração, tornando a curva contínua, expressando que para fins industriais, não compensaria continuar com a extração, devido os gastos energéticos para acondicioná-la.

5.2. Quiabo

Os experimentos foram manuseados utilizando cerca de 0,003 kg da semente de quiabo triturada, o rendimento global do óleo foi calculado de maneira análoga a Equação 1. O percentual de óleo da amostra ficou entre 5,06% e 12,16% para o tempo total de extração de 80 min, sendo considerado baixo para a produção de biodiesel, entretanto, por ser uma cultura climatérico, voltando a produzir frutos após a colheita e considerada uma cultura rasteira, visando a viabilidade ao longo do ano. Os dados do experimento estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Condições experimentais e resultados obtidos para a extração do Quiabo por CO₂ supercrítico

Experimento	Temperatura (°C)	Pressão (bar)	Tempo (min)	Rendimento total (%)
1	40	200	80	5,06
2	60	200	80	7,70
3	60	280	80	11,24
4	40	280	80	12,16
5-7	50	240	80	9,31

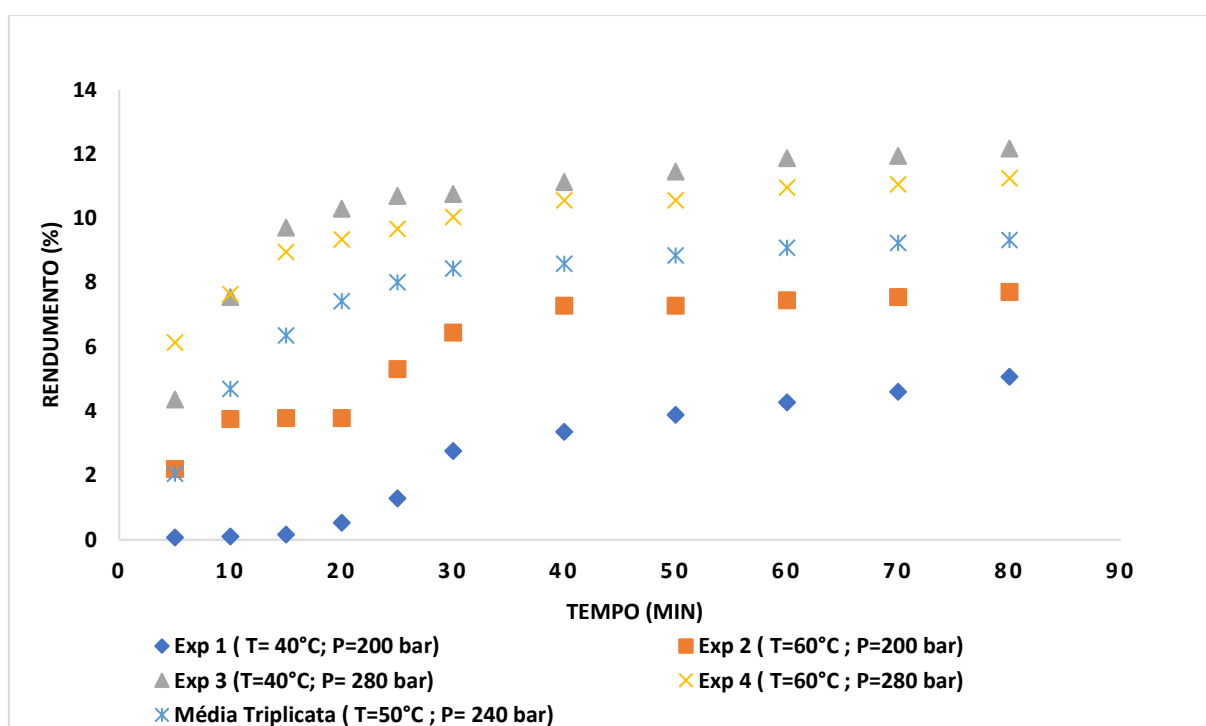
Nos experimentos 1 e 2, com pressão de 200 bar e temperaturas de 40 °C e 60 °C, foi possível observar uma extração incompleta, analisando o gráfico de cada uma delas, observou-se que não houve consistência na extração, pois nos primeiros 20 minutos houve uma oscilação gradativa, entre 20 - 30 minutos aconteceu o platô da extração, entretanto, após esse período a curva continuou oscilando, tais oscilações aconteceram devido a degradação da matéria inserida no extrator, portanto o tempo total de extração, não foi o suficiente para extrair todo o material lipídico da amostra.

Analisando as extrações com 280 bar, e temperaturas de 40 °C e 60 °C, é perceptível uma extração completa, pois a curva atingiu as três etapas de extração, sendo que a primeira aconteceu nos 20 minutos iniciais, extraíndo o óleo de fácil acesso, entre os 20 - 30 minutos, sucedeu um aumento na declividade da curva,

atingindo o platô da extração, removendo o óleo de difícil acesso, após houve uma estabilidade na extração sendo controlada por um mecanismo de difusão interna, tornando a curva quase linear, com pouca variação da extração.

Constatou-se que com o aumento da temperatura, de 40 °C para 60 °C, com pressão de 280 bar para ambos, decorreu uma atenuação na extração total de óleo, 12,16% e 11,24% respectivamente, isso aconteceu devido à baixa permeação do fluido supercrítico na amostra, ocasionando em um baixo poder de solvatação causando degradação no exemplar, diante dos parâmetros analisados.

Figura 10: Curvas cinéticas de extração para a Quiabo



5.3. Jiló

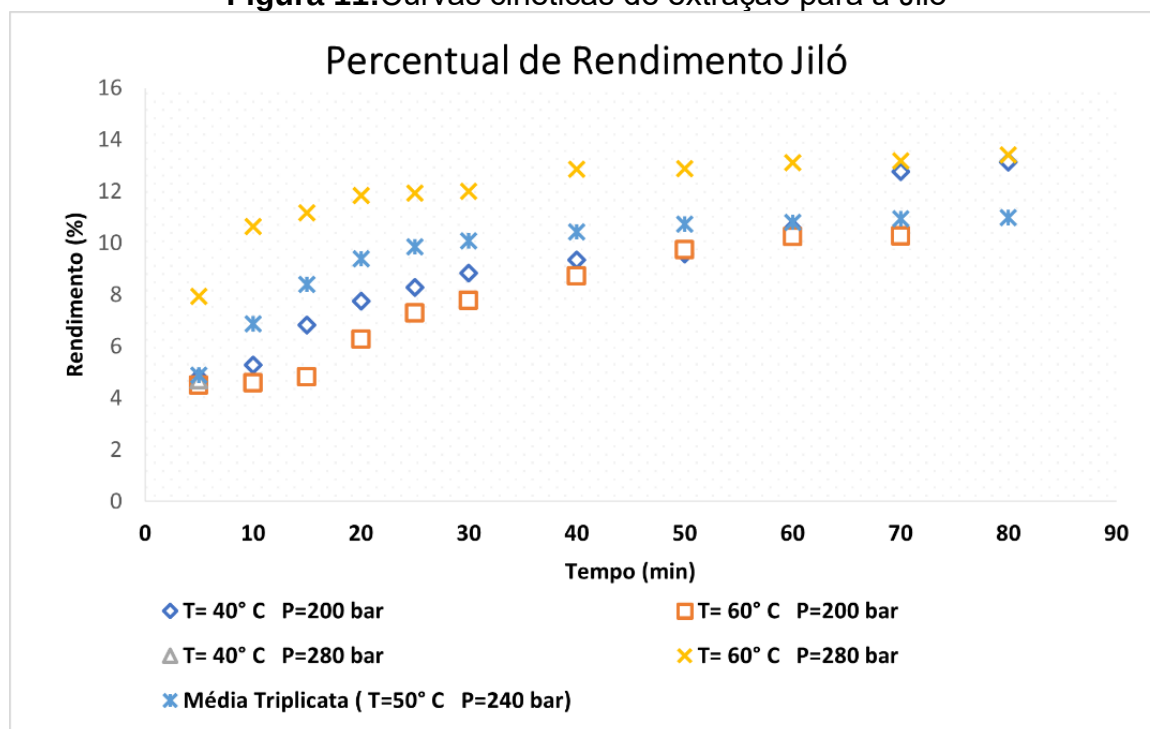
Os experimentos foram desenvolvidos utilizando cerca de 0,003 kg da semente de Jiló triturada, o rendimento global do óleo foi calculado de maneira análoga a Equação 1. O percentual de óleo da amostra ficou entre 10,27% até 13,41% para o tempo total de extração de 80min, sendo considerado baixo para a produção de biodiesel. Os dados do experimento estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6: Condições experimentais e resultados obtidos para a extração do Jiló por CO₂ supercrítico

Experimento	Temperatura (°C)	Pressão (bar)	Tempo (min)	Rendimento total (%)
1	40	200	80	13,14
2	60	200	70	10,27
3	40	280	80	13,22
4	60	280	80	13,42
5-7	50	240	80	10,99

Como um todo podemos afirmar que a extração da maior parte do material lipídico aconteceu nos primeiros 30 minutos iniciais, após esse período a quantidade de extrato é diminuída consideravelmente, havendo mudança na inclinação das curvas cinéticas de extração, prosseguindo para a extração do óleo de difícil acesso. Consequentemente, esta etapa se deu pela variação nos mecanismos de transferência de massa, relacionando o poder de solvatação entre matéria prima e soluto.

Figura 11: Curvas cinéticas de extração para a Jiló



No experimento, verificou-se que o tempo de 80 minutos não é suficiente, portanto, não foi extraído por completo os componentes lipídicos das sementes trituradas de jiló, decorrente da degradação da matéria prima. Ou seja, a curva cinética não atingiu o platô da extração, sendo assim, é impossível atingir a curva estabilidade. Isso se deve ao baixo fluxo de CO₂ utilizado durante a extração. Diante disso, é sugerido que use cerca de 0,0015 kg (metade da quantidade usada na matriz experimental) podendo assim atingir a extração completa.

6. CONCLUSÃO

Na extração supercrítica para análise de rendimento utilizando CO_2 para a semente de munguba, verificou-se que a temperatura tem grande relevância neste procedimento, visto que quando comparado os experimentos com a mesma pressão e variando a temperatura, os maiores percentuais de rendimento aconteceram nos experimentos 1 e 3, com temperatura de 40 °C, nos experimentos respectivos para 60°C ocorreu uma queda no rendimento, portanto, com o aumento da temperatura ocorreu uma degradação da amostra interferindo diretamente no percentual de rendimento total, deste modo ratificou-se que não é necessário o gasto energético da extração com o aumento da temperatura.

Comparando os rendimentos obtidos para a extração supercrítica (com CO_2) com a convencional (com etanol) foi notório uma superioridade na extração supercrítica, uma vez que a extração convencional alcançou 37,27 %, em um tempo total de 360 min, enquanto a extração supercrítica alcançou 45,87%, em um tempo total de 80 min (cerca de 22% do tempo da extração convencional).

Na extração supercrítica para análise de rendimento utilizando CO_2 para a semente de quiabo expressou-se que a temperatura tem grande relevância neste procedimento, visto que quando comparado os experimentos para pressão de 280 bar, onde obteve os maiores percentuais de rendimento, verificou-se que com a temperatura de 40°C atingiu um percentual de 12,17%, enquanto para a temperatura de 60°C foi de 11,24%, portanto, com o aumento da temperatura ocorreu uma degradação da amostra interferindo diretamente no percentual de rendimento total, deste modo ratificou-se que não é necessário o gasto energético da extração com o aumento da temperatura.

Foi constatado que para fins industriais, apesar do seu teor de rendimento total ser baixo (12,17%) para o tempo total de extração de 80 minutos, o quiabo se tornaria viável ao longo da colheita de um ano, por ser uma fruta climatério, tendo a possibilidade de até 4 colheitas durante o ano. Basta agora fazer uma análise química da amostra, para assim aferir quais ácidos graxos estão presentes, para que possa viabilizar sua produção em massa voltada ao biodiesel.

Na extração supercrítica para análise de rendimento utilizando CO_2 para a semente de Jiló, obteve-se um maior percentual de rendimento de 13,13% para pressão e temperatura de 200 bar e 40 °C, respectivamente. Além do mais foi notório que não há a necessidade de elevar os parâmetros utilizados, requerido no teste com pressão e

temperatura de 280 bar e 60 °C ser constatado um percentual de rendimento de 13,16%, validando que não há necessidade de elevar o gasto energético para uma extração completa.

7. REFERÊNCIAS

- [1] S.K. Berry, The Fatty Acid Composition and Cyclopropene Fatty Acid Content of the Maturing Okra (*Hibiscus esculentus* L.) Fruits, 1980.
- [2] Thiago A. de Oliveira, Edna M. M Aroucha, Mariana S. de M. Souza, Ricardo H. de L. Leite, Francisco K. G. dos Santos, Efeito do biofilme de gelatina e cloreto de cálcio na coloração de quiabo armazenado sob refrigeração, *Revista ACSA*. 8 (2012) 07–11. <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACS>.
- [3] M.V.P. Alves, E.V.D.R. von Pinho, H.O. dos Santos, G.C.P. Alves, R.W. Pereira, Physiological and Biochemical Characterization of Jiló Seeds (*Solanum gilo*) in Different Harvest Times, *Am J Plant Sci*. 08 (2017) 2569–2595. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.810174>.
- [4] . A.A.O., . Y.O.I., . O.A., Hypolipidaemic Potentials of *Solanum melongena* and *Solanum gilo* on Hypercholesterolemic Rabbits, *Pakistan Journal of Nutrition*. 3 (2004) 180–187. <https://doi.org/10.3923/pjn.2004.180.187>.
- [5] H.B.O. Arruda, Mapeamento das Emissões de Gases de Efeito Estufa em uma Empresa do Setor Energético, *Conexões - Ciência e Tecnologia*. 12 (2018) 108. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v12i3.1148>.
- [6] A.E. Atabani, A.S. Silitonga, I.A. Badruddin, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, S. Mekhilef, A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16 (2012) 2070–2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>.
- [7] N. Jorge, D. Maria Moreno Luzia, Caracterização do óleo das sementes de *Pachira aquatica* Aublet para aproveitamento alimentar, 2012.
- [8] Hidrogênio energético no Brasil Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.
- [9] J.R. Lorençon, S.C. Andrade, D.J. Andrade, Ocorrência de ácaros em *Paquira aquatica* Aubl. Incluindo aspectos morfológicos do aparato bucal de *Brachytydeus formosa* (Acari: Tydeidae), *Brazilian Journal of Biology*. 76 (2016) 136–143. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.15114>.
- [10] L.P. Oliveira, M. de A. Montenegro, F.C.A. Lima, P.A.Z. Suarez, E.C. da Silva, M.R. Meneghetti, S.M.P. Meneghetti, Biofuel production from *Pachira aquatic* Aubl and *Magonia pubescens* A St-Hil: Physical-chemical properties of neat vegetable oils, methyl-esters and bio-oils (hydrocarbons), *Ind Crops Prod*. 127 (2019) 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.061>.
- [11] A.V. de Mendonça Júnior, A.M. de Moraes Araújo, V.J. Fernandes, N.A. dos

- Santos, A.G.D. Santos, A.D. Gondim, Comparative study of the thermo-catalytic degradation of waste frying and *Pachira aquatica* Aubl. oil in the presence of Mo/KIT-6: Kinetic and TGA-FTIR, *J Therm Anal Calorim.* 139 (2020) 535–544. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08390-7>.
- [12] N. Jain, R. Jain, V. Jain, S. Jain, A REVIEW ON: ABELMOSCHUS ESCULENTUS, (2012) 85–89. https://pharmacia.ipsgwalior.org/artical/vol1_issue3_2.pdf.
- [13] A. Roy, S.L. Shrivastava, S.M. Mandal, Functional properties of Okra *Abelmoschus esculentus* L. (Moench): traditional claims and scientific evidences, *Plant Science Today.* 1 (2014) 121–130. <https://doi.org/10.14719/pst.2014.1.3.63>.
- [14] N. Jiang, C. Liu, D. Li, Z. Zhang, C. Liu, D. Wang, L. Niu, M. Zhang, Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption, *LWT - Food Science and Technology.* 82 (2017) 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.015>.
- [15] Prof.Dr.F. de Abreu Rodrigues, Alimentos para uma melhor memorização e prevenção, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.* 5 (2021) 9858–9872. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.1036.
- [16] T. Zhang, J. Xiang, G. Zheng, R. Yan, X. Min, Preliminary characterization and anti-hyperglycemic activity of a pectic polysaccharide from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench), *J Funct Foods.* 41 (2018) 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.028>.
- [17] T.A. Aaron, A.-B. Elvis, A. Faustina, T. Kingsley, O.O. Edmund, Phenotypic traits detect genetic variability in Okra (*Abelmoschus esculentus*. L. Moench), *Afr J Agric Res.* 11 (2016) 3169–3177. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.11160>.
- [18] A. Durazzo, G. Lombardi-Boccia, A. Santini, M. Lucarini, Dietary antioxidants and metabolic diseases, *Int J Mol Sci.* 22 (2021). <https://doi.org/10.3390/ijms222212558>.
- [19] O. Oyelade, B. Ade-Omowaye, V. Adeomi, Influence of variety on protein, fat contents and some physical characteristics of okra seeds, n.d. www.elsevier.com/locate/jfoodeng.
- [20] R. Sami, J. Lianzhou, L. Yang, Y. Ma, J. Jing, Evaluation of fatty acid and amino acid compositions in okra (*abelmoschus esculentus*) grown in different

- geographical locations, Biomed Res Int. 2013 (2013).
<https://doi.org/10.1155/2013/574283>.
- [21] T. Balasubramanian, S. Sadasivam, Changes in starch, oil, protein and amino acids in developing seeds of okra (*Abeimoschus esculentus* L. Moench), 1987.
- [22] S.T. Lee, S. Radu, A. Ariffin, H.M. Ghazali, Physico-chemical characterization of oils extracted from Noni, Spinach, Ladys Finger, bitter gourd and mustard seeds, and copra, Int J Food Prop. 18 (2015) 2508–2527.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2014.986577>.
- [23] C.L.M. de Souza, M.O. de Souza, R.S. de Oliveira, M.N. do Nascimento, C.R. Pelacani, Biometric characteristics of fruits and physiological characterization of seeds of *Physalis* species (Solanaceae), Revista Brasileirade Ciencias Agrarias. 12 (2017) 277–282. <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5447>.
- [24] T. Seal, K. Chaudhuri, B. Pillai, Identification and Quantification flavonoids in three wild edible plants, *Houttuynia cordata*, *Solanum gilo* and *Solanum kurzii* of North-Eastern region in India, using High Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection, Available Online [Www.Jocpr.Com](http://www.jocpr.com) Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 8 (2016) 859–867. www.jocpr.com.
- [25] R.G. Rezende, L.L. de Jesus, M.C. Nery, A.D.S. Rocha, S.M. Cruz, P.C.D.R. Andrade, Tetrazolium test in crambe seeds, Semina:Ciencias Agrarias. 36 (2015) 2539–2543. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2539>.
- [26] O. Jaime, J. Da, S. Barros, N. Francisco De Assis, C. Almeida, V. de Paula, Q. Chirlaine, C. Gonçalves, ESTUDOS TECNOLÓGICOS SEMENTES, 2014.
- [27] S.M. Pourmortazavi, S.S. Hajimirsadeghi, Supercritical fluid extraction in plant essential and volatile oil analysis, J Chromatogr A. 1163 (2007) 2–24.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.06.021>.
- [28] G.A. Evrendilek, H.W. Yeom, Z.T. Jin, Q.H. Zhang', G.A.E.H.W. Yeom, Q.H. Zhang, Safety and quality evaluation of a yogurt-based drink processed by a pilot plant per system, AU Righu Reserved. %bpyright 2004 by Food & Nutrition Press. Inc.. lhunbull, 2004.
- [29] T. Fornari, G. Vicente, E. Vázquez, M.R. García-Risco, G. Reglero, Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction, J Chromatogr A. 1250 (2012) 34–48.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.051>.
- [30] J.M. 1916-(Joseph M. Smith, H.C. (Hendrick C.) van Ness, M.M. Abbott,

Introdução a termodinamica da engenharia quimica, LTC, 2007.

- [31] G. Brunner, Supercritical fluids: Technology and application to food processing, J Food Eng. 67 (2005) 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.060>.
- [32] I.C.M. da Silva, W.L. dos Santos, I.C.R. Leal, M.D.G.B. Zoghbi, A.C. Feirhmann, V.F. Cabral, E.N. Macedo, L. Cardozo-Filho, Extraction of essential oil from *Cyperus articulatus* L. var. *articulatus* (priprioca) with pressurized CO₂, Journal of Supercritical Fluids. 88 (2014) 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.02.001>.
- [33] M.M. Pederssetti, F. Palú, E.A. da Silva, J.H. Rohling, L. Cardozo-Filho, C. Dariva, Extraction of canola seed (*Brassica napus*) oil using compressed propane and supercritical carbon dioxide, J Food Eng. 102 (2011) 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.018>.
- [34] M. Raventós, S. Duarte, R. Alarcón, Application and Possibilities of Supercritical CO₂ Extraction in Food Processing Industry: An Overview, Food Science and Technology International. 8 (2002) 269–284. <https://doi.org/10.1106/108201302029451>.
- [35] M. Sihvonen, E. Jaè Rvenpaè Aè, V. Hietaniemi, R. Huopalahti, Advances in supercritical carbon dioxide technologies, n.d.
- [36] C. Lima Cavalcanti de Albuquerque, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS Extração Supercrítica de Matrizes Vegetais Oleaginosas: rendimento global, cinética de extração, composição química e atividade antioxidante, 2008.
- [37] R.J. Velasco, H.S. Villada, J.E. Carrera, Aplicaciones de los Fluidos Supercríticos en la Agroindustria Applications of Supercritical Fluids in the Agroindustry, 2007.
- [38] N. Vafaei, C.B. Rempel, M.G. Scanlon, P.J.H. Jones, M.N.A. Eskin, Application of Supercritical Fluid Extraction (SFE) of Tocopherols and Carotenoids (Hydrophobic Antioxidants) Compared to Non-SFE Methods, AppliedChem. 2 (2022) 68–92. <https://doi.org/10.3390/appliedchem2020005>.
- [39] N. Rombaut, A.S. Tixier, A. Bily, F. Chemat, Green extraction processes of natural products as tools for biorefinery, Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 8 (2014) 530–544. <https://doi.org/10.1002/bbb.1486>.
- [40] R.M. Gonçalves, C.O.T. Lemos, I.C.R. Leal, C.V. Nakamura, D.A.G. Cortez, E.A.

- da Silva, V.F. Cabral, L. Cardozo-Filho, Comparing conventional and supercritical extraction of (-)-mammea A/BB and the antioxidant activity of calophyllum brasiliense extracts, *Molecules*. 18 (2013) 6215–6229. <https://doi.org/10.3390/molecules18066215>.
- [41] C.O.T. Lemos, V.A.D.S. Garcia, R.M. Gonçalves, I.C.R. Leal, V.L.D. Siqueira, L.C. Filho, V.F. Cabral, Supercritical extraction of neolignans from *Piper regnelli* var. *pallenscens*, *Journal of Supercritical Fluids*. 71 (2012) 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.07.003>.
- [42] R.M. Cordeiro, R.H.H. Pinto, F.W.F. Bezerra, J.E.R. Silva, W.A. Costa, R.N. Carvalho, DETERMINAÇÃO DA CURVA CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertolletia excelsa* H. B. K) COM CO₂ SUPERCRÍTICO, n.d.
- [43] C.L.C. Albuquerque, M.A.A. Meireles, Defatting of annatto seeds using supercritical carbon dioxide as a pretreatment for the production of bixin: Experimental, modeling and economic evaluation of the process, *Journal of Supercritical Fluids*. 66 (2012) 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.01.004>.
- [44] H. Sovova, RATE OF THE VEGETABLE OIL EXTRACTION WITH SUPERCRITICAL CO₂-I. MODELLING OF EXTRACTION CURVES, 1994.
- [45] N. Mezzomo, B.R. Mileo, M.T. Friedrich, J. Martínez, S.R.S. Ferreira, Supercritical fluid extraction of peach (*Prunus persica*) almond oil: Process yield and extract composition, *Bioresour Technol*. 101 (2010) 5622–5632. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.020>.
- [46] Emanoelle Diz Acosta, Reaproveitamento de resíduos de itaúba (*Mezilaurus itauba*) por meio de extração com CO₂ em estado supercrítico, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Química. (2013) 1–134.
- [47] B. Rodrigues Wenceslau, INSTITUTO FEDERAL GOIANO-CAMPUS RIO VERDE PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS ATIVOS DE COCOS DE GUARIROBA UTILIZANDO CO₂ SUPERCRÍTICO E PROPANO SUBCRÍTICO, n.d.
- [48] A.P. Rodrigues, G. Náthia-Neves, G.A. Pereira, A.P. Massarioli, M.Â.D.A. Meireles, S.M. de Alencar, G.M. Pastore, Obtaining high-quality oil from

monguba (*Pachira aquatica* Aubl.) seeds by using supercritical CO₂ process,
Journal of Supercritical Fluids. 171 (2021).
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105192>.

