

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**KAROLINA SANCHES YAEKASHI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE  
SEMENTE DE BABAÇU POR EXTRAÇÃO EM BANHO  
ULTRASSÔNICO UTILIZANDO SOLVENTES ORGÂNICOS**

**PONTA GROSSA  
2024**

**KAROLINA SANCHES YAEKASHI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE  
SEMENTE DE BABAÇU POR EXTRAÇÃO EM BANHO  
ULTRASSÔNICO UTILIZANDO SOLVENTES ORGÂNICOS**

**Study of the feasibility of extracting babaçu seed oil by  
extraction in an ultrasonic bath using organic solvents**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Química pelo Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Delezuk Inglez  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erica Roberta Lovo da  
Rocha Watanabe

**PONTA GROSSA**

**2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



KAROLINA SANCHES YAEKASHI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SEMENTE DE  
BABAÇU POR EXTRAÇÃO EM BANHO ULTRASSÔNICO UTILIZANDO  
SOLVENTES ORGÂNICOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Desenvolvimento De Processos.

Data de aprovação: 01 de Novembro de 2024

Dra. Simone Delezuk Inglez, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Krischina Singer Aplevicz, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Ifsc

Dra. Priscilla Dos Santos Gaschi Leite, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que fizeram parte dessa trajetória e contribuíram para que esse sonho se tornasse possível.

Agradeço ao PPGEQ da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Ponta Grossa (UTFPR-PR) e todos professores, em especial a Prof<sup>a</sup> Juliana Pietrobelli pela acolhida e as minhas orientadores Prof<sup>a</sup> Simone Inglez e Prof<sup>a</sup> Erica Watanabe por todo conhecimento compartilhado e ao auxílio e amizade da Geslia e Daiane. Ao PPGEQ da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar-SP) que também fez parte dessa pesquisa.

Agradeço ao apoio incansável e motivação do meu marido e da minha família, sempre presentes em todos os momentos.

E agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro, código de financiamento 001 (40006018177P2).

## RESUMO

A *Orbignia speciosa* ou *phalerata* (babaçu) é uma planta oleaginosa com importância econômica. A estrutura do fruto do babaçu é semelhante à de um côco, sendo composta de quatro partes: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e a semente, que apresenta cerca de 60% de óleo, onde predomina em sua composição o ácido láurico, principal responsável pelas atividades antivirais, antifúngicas e bactericidas do óleo de babaçu. O óleo de babaçu é um óleo vegetal utilizado pela indústria alimentícia, como também possui aplicação na indústria cosmética, farmacêutica e química. O objetivo deste trabalho foi a extração do óleo da semente do babaçu, através de uma extração verde, o banho ultrassônico, utilizando o hexano, e outros solventes orgânicos menos tóxicos como acetato de etila, isopropanol e etanol. Após a extração foi determinada a curva cinética do processo para definição do tempo necessário para atingir a saturação, estabelecendo o tempo encontrado como o ideal do processo. A composição em termos de ácidos graxos foi determinada por cromatografia gasosa. A atividade antioxidante foi analisada segundo o método adaptado de captura de radicais livres por espectrofotometria de ultravioleta e visível (UV-VIS). Este método é baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância. Após a interpretação e correlação dos resultados foi possível avaliar que os óleos obtidos utilizando acetato de etila, etanol e isopropanol apresentaram resultados similares ao comparar com os resultados do óleo obtido pelo solvente hexano, demonstrando que é possível a substituição e utilizando de um solvente menos tóxico.

Palavras chaves: óleos vegetais; babaçu; solventes orgânicos; extração verde; cromatografia gasosa; espectrofotometria

## ABSTRACT

*Orbignya speciosa* or *phalerata* (babaçu) is an oilseed plant of economic importance. The structure of the babaçu fruit is similar to that of a coconut, consisting of four parts: epicarp, mesocarp, endocarp, and the seed, which contains about 60% oil. The main component of this oil is lauric acid, which is primarily responsible for the antiviral, antifungal, and bactericidal activities of babaçu oil. Babaçu oil is a vegetable oil used in the food industry, as well as in the cosmetic, pharmaceutical, and chemical industries. The aim of this study was to extract the oil from the babaçu seed using a green extraction method, the ultrasonic bath, using hexane and other less toxic organic solvents such as ethyl acetate, isopropanol, and ethanol. After extraction, the kinetic curve of the process was determined to define the necessary time to reach saturation, with the identified time considered optimal for the process. The composition in terms of fatty acids was determined by gas chromatography. The antioxidant activity was analyzed according to an adapted method for free radical capture by ultraviolet-visible (UV-VIS) spectrophotometry. This method is based on the capture of the DPPH radical (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) by antioxidants, leading to a decrease in absorbance. After interpreting and correlating the results, it was possible to evaluate that the oils obtained using ethyl acetate, ethanol, and isopropanol showed similar results when compared to the oil obtained with the hexane solvent, demonstrating that it is possible to replace hexane with a less toxic solvent.

**Keywords:** vegetable oils; babassu seed oil; organic solvents; green extraction; gas chromatography; spectrophotometry

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Corte transversal do babaçu .....                         | 12 |
| Figura 2: Mecanismos de extração com banho ultrassônico.....        | 22 |
| Figura 3: Cinética da extração de oleagiosas .....                  | 27 |
| Figura 4: Cromatógrafo gasoso .....                                 | 28 |
| Figura 5: Sementes de babaçu embaladas a vácuo .....                | 31 |
| Figura 6: Rota experimental .....                                   | 33 |
| Figura 7: Agitador de peneiras.....                                 | 34 |
| Figura 8: Sementes trituradas selecionadas .....                    | 34 |
| Figura 9: Banho ultrassônico.....                                   | 35 |
| Figura 10: Filtração .....                                          | 36 |
| Figura 11: Rotaevaporador.....                                      | 36 |
| Figura 13: Cromatograma do óleo extraído com acetate de etila ..... | 43 |
| Figura 14: Cromatograma do óleo extraído com etanol .....           | 44 |
| Figura 15: Cromatograma do óleo extraído com hexano .....           | 45 |
| Figura 16: Cromatograma do óleo extraído com isopropanol .....      | 46 |

## LISTA DE QUADROS

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Quadro 1: Reagentes e solventes ..... | 31 |
| Quadro 2: Equipamentos.....           | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Informações nutricionais da amêndoa de babaçu.....  | 14 |
| Tabela 2: Composição química do óleo de babaçu .....          | 16 |
| Tabela 3: Propriedades físico-químicas do óleo de babaçu..... | 17 |
| Tabela 4: Porcentagem de ácidos graxos.....                   | 47 |
| Tabela 5: Porcentagem de inibição .....                       | 49 |

## SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                               | <b>9</b>  |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                                                 | <b>11</b> |
| 2.1 Objetivos gerais .....                                              | 11        |
| 2.2 Objetivos específicos.....                                          | 11        |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                    | <b>12</b> |
| <b>3.1 Aspectos gerais do babaçu .....</b>                              | <b>12</b> |
| 3.1.1 Propriedade das amêndoas.....                                     | 14        |
| 3.1.2 Óleo de babaçu .....                                              | 15        |
| 3.1.3 Aplicabilidade do óleo de babaçu .....                            | 18        |
| <b>3.2 Métodos de extração .....</b>                                    | <b>19</b> |
| 3.2.1 Extração por ultrassom .....                                      | 21        |
| 3.2.2 Solventes na extração .....                                       | 23        |
| <b>3.3 Curva cinética .....</b>                                         | <b>26</b> |
| <b>3.4 Caracterização dos ácidos graxos .....</b>                       | <b>28</b> |
| <b>3.5 PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES.....</b>                              | <b>29</b> |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                      | <b>31</b> |
| <b>4.1 Materia prima, reagentes, solventes e equipamentos .....</b>     | <b>31</b> |
| <b>4.2 Preparo das amostras .....</b>                                   | <b>33</b> |
| <b>4.3 Extração de óleo .....</b>                                       | <b>34</b> |
| 4.3.1 Extração assistida por ultrassom.....                             | 34        |
| <b>4.4 Curva cinética .....</b>                                         | <b>37</b> |
| <b>4.5 Caracterização das propriedades do óleo .....</b>                | <b>38</b> |
| 4.5.1 Cromatografia Gasosa.....                                         | 38        |
| 4.5.2 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH .....     | 38        |
| <b>5 RESULTADOS ENCONTRADOS .....</b>                                   | <b>40</b> |
| <b>5.1 Curva cinética.....</b>                                          | <b>40</b> |
| <b>5.2 Teor de óleo em diferentes solventes.....</b>                    | <b>41</b> |
| <b>5.3 Perfil dos ácidos graxos livres (AGL).....</b>                   | <b>42</b> |
| <b>5.4 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH.....</b> | <b>47</b> |
| <b>6 CONCLUSÃO .....</b>                                                | <b>51</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                 | <b>52</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Resíduos são produzidos pelas indústrias de alimentos e produtos agrícolas, como bagaços, peles, sementes e cascas de frutas (AYALA- ZAVALA *et al.*, 2011; GAYOSSO-GARCIA *et al.*, 2011). Alguns desses resíduos são considerados subprodutos com certo valor econômico, já outros são completamente descartados. No entanto, a maioria destes resíduos são fontes naturais de antioxidantes, compostos estes que inibem a oxidação de moléculas, evitando o início ou a propagação das reações de oxidação em cadeia (KARADAG *et al.*, 2009).

Dentre os resíduos agroindustriais mais comumente encontrados destacam-se as cascas, sementes e bagaços, que na maioria das vezes são desperdiçados de maneira inadequada causando danos ao meio ambiente ou destinados para a alimentação de animais. A maior parte destes resíduos são ricos em fibras, vitaminas, minerais e compostos fenólicos que são antioxidantes, e podem ser utilizados como fontes alternativas de compostos bioativos, visto que os antioxidantes possuem larga aplicação nos setores farmacêutico, cosmético e nutricional, além de servirem como aditivos naturais em alimentos (HUBER *et al.*, 2012 e ARBOS *et al.*, 2013).

O babaçu é uma palmeira nativa de importante representatividade na região de transição entre a Amazônia, o Cerrado e o semiárido nordestino. Possui mais de trinta e seis espécies diferentes de palmeiras que são encontradas na América Central e do Sul, especialmente no México, Peru, Bolívia e Brasil (BAUER *et al.*, 2020).

Embora a região Amazônica tenha enorme biodiversidade vegetal, muitas das espécies ali existentes ainda precisam ser estudadas, pois acredita-se que são fontes significativas de inúmeras propriedades funcionais. O babaçu é conhecido entre populações tradicionais brasileiras, e dependendo da região, pode ser chamado também de coco-palmeira, coco-de-macaco, coco-pindoba, baguaçu, uauaçu, catolé, andaiá, andajá, indaia, pindoba, pindobassu entre outros nomes. Existem muitas espécies de babaçu, porém as mais conhecidas e que tem o uso mais difundido são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa* (CARRAZA *et al.*, 2012).

A exploração do babaçu é uma atividade bem estabelecida e antiga no Brasil. Após a primeira crise do petróleo em 1973, o governo federal brasileiro considerou essa palmeira, juntamente com a cana-de-açúcar e a mandioca, como possíveis fontes de energia para substituir o petróleo importado. Uma vez que o país decidiu

basear seu programa de combustíveis renováveis na cana-de-açúcar (TEIXEIRA, 2008).

Os ácidos graxos saturados de cadeia média, como o ácido láurico, são responsáveis pela atividade antimicrobiana do leite humano e bovino inativando tanto bactérias *Gram* negativas como positivas. Além disso, possuem atividade anti-inflamatória, imunomoduladora (substâncias que atuam no sistema imunológico conferindo aumento da resposta orgânica contra determinados microorganismos), antitumoral, estimuladora da imunidade adaptativa através da proliferação de linfócitos do tipo “B” e produção de anticorpos auto-reativos em camundongos (SANTOS, 2013).

Os métodos de extração sólido-líquido mais utilizados para obter extratos ricos em compostos ativos podem ser divididos entre tradicionais e novos. As técnicas tradicionais são embasadas nos processos de difusão e osmose, incluindo extração Soxhlet, a qual ocorre sob ebulição e refluxo do solvente e agitação ultrassônica. Já os novos métodos de extração são: extração com fluido supercrítico (SFE), extração por líquido pressurizado (PLE) e extração assistida por micro-ondas (MAE) (SMIDERLE *et al.*, 2017; VANDENBURG *et al.*, 1999). Os métodos tradicionais de extração são realizados à pressão atmosférica, já nos novos métodos é possível alterar as condições de temperatura, bem como a pressão.

Encontram-se presentes na literatura diferentes métodos de extração, desde técnicas convencionais (como a extração por prensa mecânica e uso de solventes químicos), até técnicas mais avançadas, como uso de fluido supercrítico. A prensagem, mesmo sendo a técnica mais antiga, é a mais usual em indústrias de alimentos, que objetivam um óleo de maior qualidade, preservando suas propriedades naturais, sem a presença de solventes. Entretanto, esta técnica encarece o produto, uma vez que o rendimento da extração é menor (TSUKUI, 2014).

O uso de algumas tecnologias verdes, como o banho ultrassônico, tem se mostrado promissoras para várias áreas de pesquisa, uma vez que é notada a redução do uso de solventes, assim como o tempo de processo, preservando a qualidade do óleo obtido (GABRIEL, 2020). Portanto foi utilizada a extração verde, banho ultrassônico para extração do óleo da semente de babaçu utilizando diversos solventes orgânicos, para avaliar a viabilidade de substituição do solvente hexano por um solvente orgânico menos tóxico.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a extração do óleo da semente do babaçu, com diferentes solventes orgânicos avaliando a possibilidade de substituição do hexano por um solvente alternativo menos tóxico por meio do método de extração por ultrassom.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Construir a curva cinética da extração de óleo de semente de babaçu para verificar o tempo de saturação do teor de óleo obtido;
- Extrair o óleo da semente de babaçu utilizando hexano, acetato de etila, etanol e isopropanol;
- Quantificar e comparar os óleos obtidos pelo método de cromatografia gasosa;
- Quantificar e avaliar a capacidade antioxidante do óleo bruto.

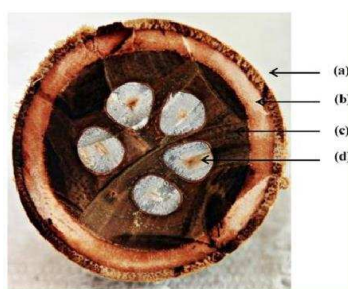
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Aspectos gerais do babaçu

O nome do babaçu tem origem Tupi-Guarani em que *ba* é fruto e *açu*, grande. É uma palmeira nativa das regiões de matas coqueirais do cerrado norte, nordeste e central do Brasil (CRUZ, 2011). Babaçu é o nome atribuído às palmeiras oleaginosas. *Palmae*, *orbignya attalea* ou *orbignya martiana* (babaçu da floresta) e a *orbignya oleifera* (babaçu do cerrado) são as espécies principais, sendo típicas em áreas de transição entre o cerrado, Mata Amazônica e o semiárido nordestino (SOUZA *et al.*, 2007).

O babaçu pertence à família Arecaceae, do gênero *Attalea*, que contém mais de 30 espécies descritas. É naturalmente abundante nos estados do norte e nordeste do Brasil, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins (15 milhões de hectares), onde as florestas contêm cerca de 25 bilhões de árvores. A estrutura do fruto do babaçu é semelhante à de um coco, sendo composta de quatro partes (MANIGLIA *et al.*, 2014). A palmeira babaçu produz cocos dispostos em cachos. O fruto desta palmeira é elipsoidal e dividido em epicarpo (11–13%), mesocarpo (20–23%), endocarpo (57–63%) e semente (7–9%), conforme Figura 1 (TEIXEIRA, 2008).

**Figura 1: Corte transversal do babaçu**  
(a) epicarpo, (b) mesocarpo, (c) endocarpo, (d) núcleo



Fonte: Teixeira (2008)

Todas as partes desta planta podem ser usadas, fornecendo alimentos, combustível, fibras, materiais de construção, entre outros. O óleo comestível representa 65% da semente e é utilizado na fabricação de sabonetes, surfactantes e margarinas e, tradicionalmente, a farinha de mesocarpo é utilizada pelas pessoas para tratar inúmeras condições, incluindo: feridas crônicas, colite, úlcera duodenal, artrite, cólicas menstruais, esgotamento nervoso, celulite, varizes e tumores

(SCHEIBE *et al.*, 2016). Diversas atividades biológicas têm sido atribuídas ao mesocarpo do babaçu, como propriedades anti-inflamatórias, cicatrizantes, antitumorais, antitrombóticas e antimicrobianas (BARROQUEIRO *et al.*, 2016).

A importância do babaçu está relacionada ao seu vasto número de produtos e subprodutos. Algumas das formas de uso são: alimentação humana e animal, artesanato, cobertura de casas, cosméticos e combustível, entre outros. O uso tradicional mais comum é o do óleo na alimentação. Nas regiões dos babaçuais, o alimento é todo preparado com o óleo do babaçu. O uso do mesocarpo tem tido importância devido a seu alto teor nutricional (CARRAZA *et al.*, 2012).

No que se diz a respeito à produção de óleo combustível, o óleo de babaçu possui características excelentes para produção de biodiesel, devido sua composição ser láurica. Este fato facilita a reação de transesterificação, pois os ésteres láuricos são compostos de cadeias curtas que interagem de forma mais eficaz e efetiva com o agente transesterificante e com o catalisador, de modo a se obter um produto, biodiesel, de excelentes características físico-químicas, inclusive quando o catalisador é diferente do hidróxido de sódio, que é o mais utilizado. Observou-se que quando é utilizado catalisadores heterogêneos e óleo de babaçu para síntese de biodiesel, obtêm-se maiores rendimentos em relação aos outros óleos (ABREU *et al.*, 2004).

O babaçu é uma planta oleaginosa, cuja amêndoa apresenta cerca de 60% de óleo e o mesocarpo, aproximadamente 50% de amido, ou seja, se processado integralmente, obtêm-se óleo e amido, o que representa as matérias primas para o biodiesel e etanol respectivamente; o babaçu destaca-se como uma oleaginosa com potencial para a produção de biocombustíveis. (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

May, Neto e Cheves Pozo (2000) afirmaram que além de utilizar a casca para produzir carvão, as famílias utilizavam o mesocarpo do babaçu, que apresenta 60% de amido, o que o tornava uma excelente fonte de carboidrato para alimentação.

Em populações rurais e em tempos de escassez, a farinha do mesocarpo é usada como alimento pela produção de mingau (água e farinha), considerada excelente remédio para alterações gastrointestinais

De maneira geral, o fruto tem potencial em indústrias de cosméticos, na obtenção de óleo comestível, margarinas, saboarias, velas, carvão, etanol, ácido

acético, metanol, alcatrão, celulose e papel. Da amêndoa ainda pode-se obter rações, ácidos graxos e glicerinas. Em escala comercial, somente o carvão e o óleo têm sido produzidos (SOLER; VITALI; MUTO, 2007).

### 3.1.1 Propriedade das amêndoas

A amêndoa é a parte mais valiosa comercialmente porque contém óleo e constitui cerca de 60% do fruto. O óleo de babaçu contém cerca de 40% de ácido láurico, uma molécula que corresponde a doze átomos de carbono unidos por ligações simples, que é chamado de ácido saturado, que apresenta significativa importância na indústria alimentícia, pois é resistente à oxidação térmica e possui baixa temperatura de fusão (FILHO, *et al.*, 2021).

**Tabela 1: Informações nutricionais da amêndoa de babaçu**

| Componentes                 | %    |
|-----------------------------|------|
| Proteínas                   | 7,25 |
| Gorduras totais             | 66,0 |
| Hidrocarbonatos (glicídios) | 18,0 |
| Ácido fosfóricos            | 0,50 |
| Sais de Cálcio e outros     | 7,80 |

**Fonte: Gonçalves (1955) apud Peixoto (1973)**

As amêndoas normalmente são usadas para extração de óleo de forma artesanal, extraído através de fervura intensa do fruto em uma panela de ferro com água, por algumas horas, até obter um sobrenadante da parte gordurosa (SARAIVA, 2008). Os resíduos gerados são uma fonte de matéria orgânica que servem como fonte de proteínas, fibras, sais minerais e vitaminas (COELHO *et al.*, 2001). No entanto, a extração mecânica do óleo é a mais utilizada pelas indústrias e cooperativas. Ela é realizada através da prensa da amêndoa até a total extração do óleo (LUTZ, 2008). Essa forma é menos agressiva, o que certamente minimiza a oxidação do óleo e possibilita a maior vida de prateleira e maior tempo de conservação (AQUINO, 2011).

A amêndoa de babaçu também é rica em potássio (3,294 µg/g), fósforo (3,395 µg/g), magnésio (1,673 µg/g), cálcio (397 µg/g) e zinco (22 µg/g) (NAOZUKA *et al.*, 2011), que são minerais essenciais para a saúde humana.

O óleo e o caroço de babaçu têm diversas aplicações. O babaçu, como a biomassa, pode ser aproveitado de energia renovável, principalmente para produção de combustível. O biodiesel derivado de babaçu tem despertado o interesse de pesquisas científicas e entidades industriais (OLIVEIRA *et al.* 2013).

No processo de extração do óleo, duas frações são obtidas da amêndoa: o óleo e a torta. O óleo extraído representa aproximadamente 65% da massa total do grão e é composto por triglicerídeos e diversos ácidos graxos livres (ZYLBERSZTAJN *et al.*, 2000). A torta de caroço é rica em carboidratos e proteínas, que compõem entre 90% e 95% do seu conteúdo total. É frequentemente usado como fertilizante orgânico e como suplemento alimentar (ROCHA *et al.*, 2003).

### 3.1.2 Óleo de babaçu

O óleo de babaçu é extraído das amêndoas e tem uma cor amarela clara quando extraído por cozimento, o principal método tradicional de extração. Este óleo contém um alto nível de ácidos graxos saturados de cadeia curta, sendo o ácido láurico o mais abundante (40 a 55%). Este óleo contém maior concentração de ácidos graxos insaturados (10 a 26%) em comparação ao óleo de coco (6 a 12%), um importante agente de textura na indústria alimentar (REIPERT; RODRIGUES; MEIRELLES, 2011).

O óleo de babaçu no Brasil é uma das principais fontes de ácido láurico, sendo uma das principais características das propriedades cosmetológicas desse óleo. Além deste ácido graxo existe também uma quantidade de ácido mirístico, caprílico e oléico de acordo com a Tabela 2 (GUMIERO, 2011).

**Tabela 2: Composição química do óleo de babaçu**

| Ácidos graxos            | %     |
|--------------------------|-------|
| Ácido caprílico (C8:0)   | 4-10  |
| Ácido cáprico (C10:0)    | 4-12  |
| Ácido láurico (C12:0)    | 38-54 |
| Ácido mirístico (C14:0)  | 12-28 |
| Ácido palmítico (C16:0)  | 4-12  |
| Ácido esteárico (C18:0)  | 1-7   |
| Ácido oléico (C18:1)     | 5-15  |
| Ácido linoleico (C18:2)  | <3    |
| Ácido linolênico (C18:3) | <1    |
| Ácido Araquídico (C20:4) | <1    |

**Fonte: Adaptado de GUMIERO (2011)**

O óleo de babaçu possui cerca de 90% de ácidos graxos saturados, o que o torna particularmente especial para a indústria por ser resistente à oxidação, de fácil absorção por conter ácidos graxos de cadeia média, alta capacidade de saponificação, poder emoliente e alta temperatura de fusão (SOARES -FILHO *et al.*, 2021). Este óleo possui composição semelhante à dos óleos de coco e palmiste, portanto possui propriedades e aplicações análogas, o que o torna um concorrente comercial desses óleos. Embora os óleos de coco e palmiste tenham vantagens competitivas em termos de oferta e preço, o óleo de babaçu apresenta vantagens comparativas em termos de suas características físicas e químicas, pois é inodoro, de cor mais clara e mais estável que outros óleos (SALES *et al.*, 2020), conforme pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3: Propriedades físico-químicas do óleo de babaçu**

| Análise                   | Resultado                   |
|---------------------------|-----------------------------|
| Acidez                    | 0,89%                       |
| Impurezas                 | 0,5% (máx)                  |
| Umidade/Voláteis          | Traços                      |
| Ponto de fusão            | 24°C                        |
| Cor                       | 1,3 vermelho / 20,0 amarelo |
| Densidade a 25°C          | 0,915 g/cm <sup>3</sup>     |
| Índice de saponificação   | 249 mg KOH/1g               |
| Índice de iodo            | 15g/100g                    |
| Índice de refração a 40°C | 1,45%                       |
| Insaponificáveis          | 0,05%                       |

**Fonte: Cooperativa dos Pequenos Produtores de Lado do Junco (COPPALI)**

O ácido láurico também é o principal responsável pelas atividades antivirais, antifúngicas e bactericidas do óleo de babaçu. Estudos sobre o ácido láurico têm demonstrado que este ácido graxo, possui um potencial antimicrobiano *in vitro* contra as bactérias presentes na pele, incluindo *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* e *Propionibacterium acenus*, sendo maior que a ação do peróxido de benzoila (GUMIERO,2011).

Os óleos que possuem esse ácido são importantes na indústria por serem resistentes à oxidação não enzimática e, ao contrário de outros óleos saturados, tem temperatura de fusão baixa e bem definida (MACHADO; CHAVES; ANTONIASSI, 2006). O óleo possui alta capacidade antioxidante e em modelos animais tinha se mostrado um alimento funcional (MEDEIROS *et al.*, 2015).

Sabe-se que o óleo das amêndoas de babaçu possui baixas concentrações de compostos fenólicos e tocoferóis; dessa forma, o efeito anti-inflamatório é atribuído à presença de ácido láurico e laurato de glicerol (REIS *et al.*, 2017). Os ácidos graxos presentes no óleo das amêndoas de babaçu apresentam além da atividade anti-inflamatória, a capacidade de estimular a angiogênese (processo de formação de vasos sanguíneos a partir de vasos preexistentes), e, por isso, é utilizado no processo de cicatrização de feridas (REIS *et al.*, 2017).

### 3.1.3 Aplicabilidade do óleo de babaçu

A indústria oleoquímica, especialmente nas áreas de cosméticos, alimentos e biocombustíveis, é uma potencial consumidora. O óleo também é utilizado na fabricação de diversos produtos, como sabonetes, tintas, vernizes e cosméticos (D. ZYLBERSZTAJN *et al.*, 2000). Também é útil para produtos farmacêuticos e alimentícios, utilizadas na fabricação de chocolates, margarinas, sorvetes e outros produtos (MACHADO, 2005). O ácido láurico também possui propriedades farmacológicas, como a redução da carga viral do HIV em puérperas e recém-nascidos quando as dietas das pacientes são suplementadas com ele (GARCIA *et al.*, 1999).

Na indústria cosmética, o óleo pode ser empregado em cremes faciais, corporais e emulsões de limpeza. Em formulações para o cuidado dos cabelos, o óleo de babaçu é útil, pois o ácido láurico presente auxilia na reposição lipídica e na elasticidade da fibra capilar (CRODA, 2002; LIMA *et al.*, 2008, 2010; SOLER; VITALI; MUTO, 2007; TEIXEIRA, 2005).

Martins *et al.* (2006) realizaram estudos que comprovaram a atividade antiinflamatória e cicatrizante da espécie *Orbignya phalerata* em camundongos, demonstrando a capacidade dessa planta em aumentar a produção de óxido nítrico, liberação de histamina e do processo de cicatrização.

Nos estudos de Amorim *et al.* (2006), foi observado que o extrato aquoso de *Orbignya phalerata* apresentou atividade anti-inflamatória por uso tópico. Além disso, o extrato contribuiu para o processo de cicatrização, tanto no nível microscópico quanto no macroscópico das feridas cutâneas em ratos, principalmente no 7º dia, onde a diferença em relação ao controle foi maior. Na pesquisa de Souza *et al.* (2011), foi avaliada a frequência e as principais formas de uso terapêutico de produtos e subprodutos de babaçu nas comunidades quebradoras de coco no Maranhão onde algumas das atividades biológicas dos produtos derivados do babaçu relatado pelas pessoas, já foram confirmadas cientificamente em estudos clínicos.

### 3.2 Métodos de extração

A principal etapa de separação, caracterização e utilização de compostos bioativos de diferentes culturas agrícolas é a extração (BIMAKR *et al.*, 2013). Segundo Eggers & Jaeger (2003), extração é uma operação unitária realizada para separar determinadas substâncias por meio de diversas matrizes, líquidas ou sólidas, através de processos químicos, físicos ou mecânicos. Existem diversos métodos e tecnologias de extração de óleos de grãos e sementes, entre eles as prensagens mecânica e hidráulica, a extração química, além de outras técnicas mais avançadas utilizando fluido supercrítico e enzimas. A principal extração a quente utiliza o equipamento chamado *Soxhlet* (LUTZ, 2008)

O primeiro equipamento de extração de óleos foi criado por Franz Von Soxhlet, em 1879 e durante anos este equipamento foi o mais usual entre os pesquisadores. No equipamento Soxhlet as amostras são envolvidas por papel filtro, onde receberão o solvente. Durante a extração ocorre a sifonagem de solvente de maneira intermitente em amostra, possibilitando um rendimento elevado de óleo e conservação do solvente (SOUZA *et al.*, 2009). Entretanto, algumas amostras necessitam de cuidados especiais na hora das extrações, pois em alguns casos é comum a co-extração de componentes não lipídicos e oxidação indesejada pelo uso de temperatura de ebulição do solvente elevada, levando à reação de peroxidação e hidrólise, comprometendo a quantificação exata dos componentes lipídicos, além apresentar elevado tempo de extração, tornando a operação custosa (BRUM *et.al.* 2009).

Os métodos de hidrodestilação, destilação a vapor, extração com solvente e prensagem podem ser considerados métodos de extração comuns. Recentemente, novas tecnologias como ultrassom, aquecimento ôhmico, fluido supercrítico e extração por micro-ondas têm sido usadas como métodos avançados (TUNÇ E KOCA, 2019).

A extração química por solventes é um dos métodos convencionais que é amplamente utilizado para extrair óleos de plantas. Os tipos comuns de solventes são n-hexano, isopropanol, clorofórmio, diclorometano e éter de petróleo (ANWAR *et al.*, 2019; TEO E IDRIS, 2014). Embora o n-hexano esteja associado à toxicidade, ainda

é a escolha preferida devido às suas propriedades como boa solubilidade, fácil recuperação, ponto de ebulição entre 63 a 69° C, boa solubilidade do óleo em baixa temperatura, inerte ao óleo e relativamente barato (KUMAR *et al.*, 2017; SUTAR e GHOGARE, 2017). Além disso, o uso de n-hexano geralmente resulta em maior rendimento de óleo (STAMENKOVI *et al.*, 2020). Zhong *et al.* compararam a extração de óleo de sementes de *Moringa oleifera* usando extração por solvente assistida por micro-ondas, extração por solvente assistida por ultrassom e métodos convencionais de extração por solvente (ZHONG *et al.*, 2018).

A extração física leva a um rendimento menor e mais consumo de energia do que a extração química, enquanto o método de extração *Soxhlet*, que é uma extração química, geralmente leva mais tempo de extração. Como esses métodos tradicionais de extração podem danificar compostos valiosos, e os ácidos graxos polinsaturados podem ser deteriorados pela exposição a altas temperaturas, vale a pena buscar um método superior. Portanto, extração de fluido supercrítico, extração enzimática aquosa, extração assistida por micro-ondas e extração assistida por ultrassom são alternativas promissoras.

Devido ao seu fácil manuseio e operação, o equipamento agitador orbital shaker é utilizado em experimentos laboratoriais, principalmente quando se buscam alternativas mais limpas de extração, uma vez em que favorece a possibilidade vários ensaios simultâneos, com controle de temperatura e tempo de processo (TSUKUI *et al.*, 2014).

A extração de óleos é favorecida pela circulação convectiva entre a amostra e o solvente, aumentando sua interação, e conseqüentemente o rendimento do processo. Para isto, as sementes são submersas em solventes, e a mistura é depositada em béqueres ou erlenmeyers, que por sua vez são acoplados no equipamento para assim começar o movimento orbital da bandeja (ARAÚJO, 2018). Segundo Tsukui *et al.* (2014), o uso do *shaker* para extração de óleo de café ainda é pouco explorado, entretanto, é uma alternativa viável, uma vez em que se busca a produção mais limpa. A sua problemática, entretanto, está no baixo rendimento de óleo obtido, o que pode ser um fator decisivo para seu não uso na indústria. Visando otimizar o processo e obter uma melhoria na extração, e conseqüente diminuição do tempo de reação, Ho *et al.* (2016) afirmavam que a área superficial entre as fases imiscíveis (óleo e

solvente) formadas deve ser maximizada. Além disso, o uso de equipamento extratores que favoreçam a extração sem prejudicar a qualidade do óleo extraído e que evitem a decomposição de compostos de interesse é o objetivo de muitos estudos.

A eficiência do banho ultrassônico depende do meio em que se está inserido. Quando a cavitação de bolhas implode em uma superfície sólida, uma distorção de zona de pressão é formada a altas velocidades, permitindo a ruptura das membranas celulares, aumentando a sua porosidade, e conseqüentemente, facilitando a transferência de massa do interior da célula (NORA; BORGES, 2017). Considerando o fenômeno resultante do banho ultrassônico e as baixas resistências mecânicas das membranas celulares, é possível extrair óleo de forma eficiente em pouco tempo, além disso, o uso do banho ultrassônico oferece algumas vantagens como melhorias nos rendimentos, extração de compostos bioativos, sem prejudicar seus efeitos antioxidantes e atividades antimicrobianas, redução da degradação térmica dos compostos, diminuição do tempo de extração e da quantidade de solvente (NORA; BORGES, 2017).

As limitações associadas aos métodos convencionais de extração de óleos vegetais incluem o longo período de extração necessário, riscos ambientais e à saúde, alto consumo de solventes e possíveis alterações nas características do óleo extraído. Assim, tecnologias alternativas de extração de petróleo, que sejam eficientes e forneçam produtos de alta qualidade, mas que não exijam o uso de produtos químicos tóxicos, precisam ser desenvolvidas (TIWARI, 2015; KOUBAA *et al.*, 2016).

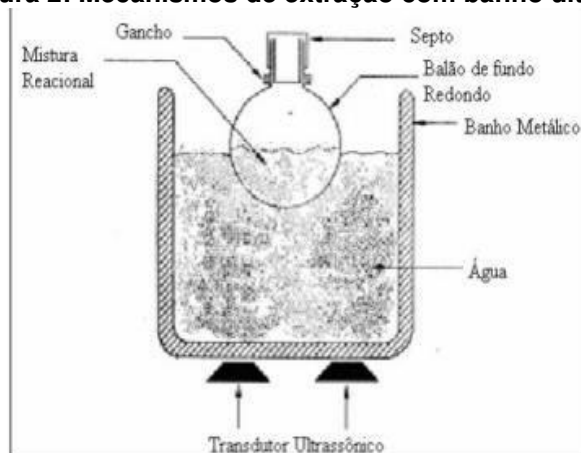
### 3.2.1 Extração por ultrassom

Os métodos de extração podem afetar a eficiência. É comprovada que a irradiação por micro-ondas, é uma fonte de energia limpa, eficiente e conveniente, tem sido utilizada em algumas reações aceleradas catalisadas por enzimas (GAI *et al.*, 2013).

O banho ultrassônico possui um transdutor, preso do fundo da cuba do aparelho, responsável pela emissão de energia ultrassônica, que se transmite através de um líquido, geralmente água, conforme ilustrado pela Figura 2, que faz com que

ocorra o processo de cavitação (SCHNEIDER, 2005).

**Figura 2: Mecanismos de extração com banho ultrassônico**



Fonte: Schneider (2005)

A irradiação por micro-ondas é um método alternativo ao aquecimento convencional. Comparado com o aquecimento por condução/convecção, que é baseado na transferência de calor interfacial, o micro-ondas usa a capacidade de aquecimento direto do objeto alvo devido ao campo eletromagnético aplicado. O aquecimento por micro-ondas é volumétrico e rápido (XIAO *et al.*, 2011). Esse tipo de aquecimento acelera a velocidade inicial das reações.

Tan *et al.* (2018) relataram que a aplicação de ultrassom resultou em maior rendimento de extração e maior nível de ácido graxo insaturado. Em outro estudo, a extração assistida por ultrassom aumentou a eficiência de extração do óleo de canola em comparação com o método Soxhlet (JALILI *et al.*, 2018).

O processo utilizando banho ultrassônico resulta em um fenômeno físico, capaz de aumentar e implodir cavidades de vapor e gases (cavitação), otimizando as reações químicas e, conseqüentemente, a extração de óleos. A cavitação é resultado de um ciclo de compressão e expansão, em processo contínuo, formando um ciclo de diferentes pressões, gerando microbolhas, que implodem, ocasionando pontos de alta temperatura e pressão, facilitando o processo como um todo. Quanto maior a frequência do equipamento maior a cavitação de bolhas (MATOS, *et.al.* 2009)

A aplicação do ultrassom tornou-se um método promissor na extração de óleo de plantas. Além do método de extração, existem parâmetros tecnológicos que influenciam o rendimento de extração no processo industrial, tais como preparações iniciais, tamanho de partícula, tipo de solvente, composição do solvente, razão

sólido/solvente, temperatura e pressão de extração, tempo de extração e pH (GUO *et al.*, 2019, YUAN *et al.*, 2019).

A popularidade da extração de óleo por ultrassom é aumentada devido à melhoria na eficiência da extração (MUSHTAQ *et al.*, 2020). A extração por ultrassom pode ser utilizada como uma tecnologia alternativa perfeita na indústria do petróleo devido ao aumento da eficiência, uma vez que o processo pode ser executado em tempo e temperatura de extração baixos, com menor consumo de solvente e energia (DA ROSA *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2017).

A extração por ultrassom melhora a eficiência pelo mecanismo de “cavitação acústica”, que gera alta força de cisalhamento causando difusão mais rápida do composto desejado por mistura violenta e transmissão acústica. Os fenômenos de cavitação tornam a liberação de componentes celulares mais rápida devido à formação de trincas e poros na matriz da amostra, o que aumenta o rendimento da extração. A eficiência de extração por ultrassom do rendimento de óleo de semente de canola foi melhorada em comparação com a extração por Soxhlet (JALILI *et al.*, 2018).

O processo de extração sólido-líquido é capaz de remover da matriz oleaginosa os principais compostos de cada grão, que variam de acordo com o solvente utilizado. A extração ocorre em três principais etapas: penetração do solvente nas camadas do tecido, formação de miscela (óleo e solvente) e difusão do extrato na miscela externa, sendo assim considerados processos físicos, pois o óleo transferido para o solvente é recuperado sem nenhuma reação química (BRUM *et al.*, 2009).

### 3.2.2 Solventes na extração

O solvente ideal empregado na extração deve apresentar propriedades com elevada solubilidade em óleo em baixas temperaturas, alta seletividade pela substância a ser extraída, ser inerte quimicamente, não ser inflamável, explosivo, irritante, cáustico e venenoso, apresentar baixa viscosidade, de fácil remoção do resíduo e do óleo, ser imiscível em água, possuir baixo ponto de ebulição e baixo calor de evaporação, ser pouco poluente. Não é possível encontrar um único solvente com todas estas características, procura-se por um solvente que possua o menor número de desvantagens e com baixa toxicidade (TSUKUI, 2014).

Em solventes apolares a extração por solventes é facilitada, pois eles têm afinidade com a parte lipídica do grão, como é o caso do éter de petróleo e hexano. Por apresentar características como poder de solvência para inúmeras oleaginosas, facilidade em separar óleo ou gordura, ajudando na recuperação de solvente, alta pureza e ausência de resíduos, baixo ponto de ebulição (diminuindo a decomposição do óleo), o hexano é usado na obtenção de óleos de diferentes sementes (BATISTA *et.al*, 2016).

O n-hexano apresenta uma série de características determinantes para seu uso como solvente em um processo de extração, por exemplo, boa dissolução em óleo, faixa estreita de temperatura de ebulição, baixo calor latente de ebulição e imiscibilidade em água. No entanto, é importante notar que se trata de um solvente não-renovável, inflamável, alta volatilidade e toxicidade (LI *et al.*, 2014).

A utilização do hexano é um aliado no processo extrativo, entretanto, a busca por alternativas sustentáveis, com uso de solventes menos tóxicos ao homem e ao meio ambiente, também pode ser aproveitada na extração utilizando isopropanol, acetona, mistura de clorofórmio e metanol e principalmente com etanol (BATISTA *et al.*, 2016).

Visando à substituição do solvente hexano, devido sua toxidade e por ser derivado de uma fonte não renovável, o petróleo, o etanol além de ter um potencial para extração de óleo, é um solvente biodegradável e não tóxico, a extração feita com o etanol promove um pré refino do óleo e o solvente pode ser recuperado sem gasto de energia (GOMES *et al.*, 2013). Solventes polares, como álcoois, são conhecidos por extrair maiores quantidades de produtos indesejados, como proteínas, carboidratos, fosfatídeos entre outros compostos, por tanto, seu processo tem algumas particularidades (EFTHYMIPOULOS *et al.*, 2018).

Inúmeros solventes alternativos têm sido estudados para extração de óleos para substituição do hexano, como o tricloroetileno, n-heptano, etanol, isopropanol e propanol (DALMOLIN, 2009). O etanol, dentre as demais opções, mostra-se um solvente promissor para o processo de extração, pois é encontrado em quantidade no território nacional, uma vez em que o Brasil é provedor de matérias primas abundantes, como a cana-de-açúcar, e pioneiro na produção deste solvente, resultando em custos mais baixos ao processo (FREITAS, *et.al*. 2007). A extração

com etanol apresenta a vantagem de possuir baixa toxicidade, alternativa sustentável e econômica ao processo extrativo, com apelo a química verde. Além disso, devido a sua estrutura molecular, representada por uma parte apolar e uma extremidade polar (grupo OH), o etanol é capaz de solubilizar não somente o óleo presente na oleaginosa, mas também outros compostos orgânicos que podem ser explorados, como as ceras (SILVA, *et.al.*, 2015).

A substituição do hexano pelo etanol representa uma excelente alternativa econômica e sustentável, principalmente para o Brasil, que é um produtor de cana de açúcar (CETESB, 2018). Esta troca pode significar perspectivas comerciais, além de representar uma fonte de energia renovável. Outra vantagem é a independência de materiais derivados do petróleo, sua baixa toxicidade e, mesmo sendo inflamável, seu risco é menor comparado ao hexano. O etanol é um caso especial no que diz respeito à solubilidade, pois é infinitamente solúvel na água (polar), mas também dissolve bem materiais apolares, como a gasolina. Isso acontece porque sua molécula possui uma parte apolar e uma extremidade polar, o grupo OH (RAMALHO & SUAREZ, 2013).

Qualitativa e quantitativamente, o etanol e o metanol são os principais solventes de escolha, pois são amplamente utilizados na indústria de bebidas, alimentos e cosméticos. Devido à sua eficiência na extração de compostos fenólicos, o etanol é um solvente verde, mais adequado para consumo humano (sendo o Brasil um dos maiores produtores), reutilizável e não tóxico (YAKOUB *et al.*, 2018).

Segundo Dagostin (2015), o uso do etanol como solvente para extração de óleo é vantajoso devido a sua seletividade aos compostos da oleaginosa, além das demais vantagens sustentáveis e econômicas do processo. Entretanto, ao utilizar o etanol como solvente são obtidas duas misturas após o resfriamento, sendo necessário o refinamento do mesmo para retiradas dos ácidos graxos livres, compostos apolares e fosfolípidios na fase rica.

No estudo de cinética e termodinâmica de extração de óleo de algodão, o uso de isopropanol e etanol são os mais promissores solventes alternativos para a extração em comparação à substituição do hexano. O etanol se destaca devido a seu baixo custo e alta reprodutibilidade. As melhores condições de extração acontecem na

temperatura de 308K no tempo de 3 horas na razão de 10:1, obtendo 77,28 % de óleo de algodão (SAXENA *et al.*, 2011).

Para Gomes *et al.* (2013), o uso do etanol promove um pré-refino do óleo extraído e o solvente pode ser recuperado sem gastos energéticos. Os autores exploraram a extração de óleo de babaçu com hexano e etanol buscando determinar as melhores condições de processo, identificando a temperatura e razão solvente/amostra, ideais para cada solvente. Com o etanol as melhores condições para extração de óleo da amêndoa de babaçu foram na razão 5:1 solvente/amostra, a temperatura de 60° C, durante 3 horas, obtendo 89,67% de teor de óleo e concluíram que a substituição do hexano pelo etanol é viável.

Em estudos sobre extração de óleos de semente de jatrofa com etanol e hexano como solventes, foi encontrada uma média de rendimento de 31,22% para o hexano e de 34,34% para o etanol, utilizando a mesma metodologia de extração. Os autores chegaram ao valor de 36,75% de teor de óleo da semente de jatrofa utilizando o etanol, em um tempo ótimo de 4 horas (GONZÁLEZ *et al.*, 2010).

Para extração de óleos com etanol, há um gasto energético maior, uma vez em que seu ponto de ebulição é de 78° C, além de ser um solvente polar, ou seja, é infinitamente solúvel em água, reduzindo a solubilização do óleo na miscela e conseqüentemente, a eficiência da extração. Para contornar estes problemas de solubilidade, o uso de co-solventes, ou mistura de solventes, que aumentam a afinidade entre os compostos da mistura, tem sido usual (DAGOSTIN, 2015)

### **3.3 Curva cinética**

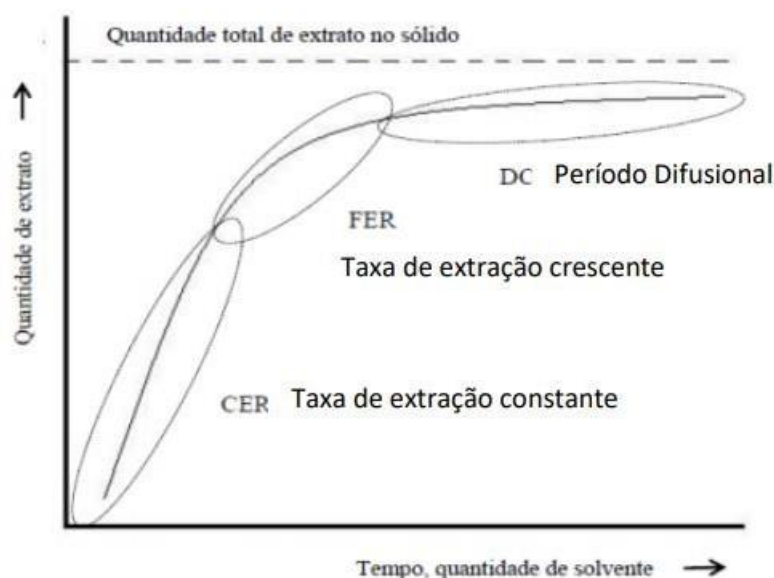
Um fator importante no processo de obtenção do óleo é a cinética de extração, pois o conhecimento desta operação permite saber o que ocorre em nível molecular durante a reação, sendo possível assim aumentar o rendimento do processo. O estudo da cinética de extração do óleo é de fundamental importância para a obtenção e otimização das condições experimentais para o desenvolvimento de processos mais eficientes (GOMES *et al.*, 2013).

O estudo da velocidade, ou taxa de desenvolvimento de uma reação química, é baseado pela construção de um gráfico, conhecido como curva cinética que é utilizada para análise dos fatores que influenciam na velocidade do processo,

relacionando o consumo de reagentes e formação de produtos (SCARAVELLI *et al.*, 2014).

Segundo Nascimento (2017), as curvas cinéticas de extração para oleaginosas podem ser classificadas em três etapas distintas, como indica a Figura 3.

**Figura 3: Cinética da extração de oleaginosas**



**Fonte: Nascimento (2017)**

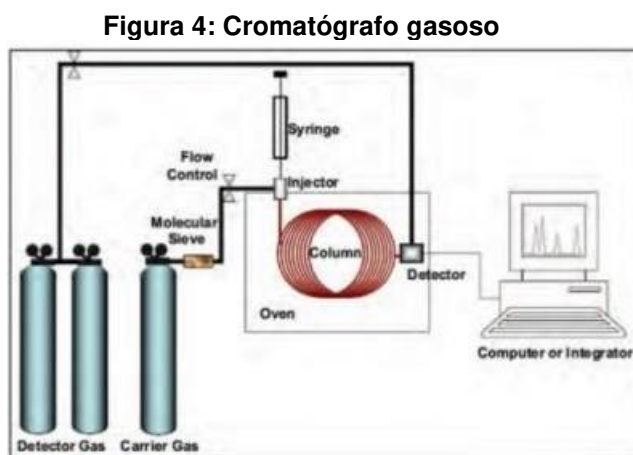
No período de taxa de extração constante (*CER – constant extraction rate*) a transferência de massa por convecção predomina, onde os solutos são liberados pelo rompimento das paredes celulares, removendo óleo da superfície externa das sementes. Já no período de taxa de extração decrescente (*FER – falling extraction rate*) é a etapa onde ocorre a difusão e convecção do óleo através das camadas dos grãos. E por fim, no período difusional (*DC – diffusion controlled*) é onde a extração ocorre pela difusão do solvente para o interior das partículas (NASCIMENTO, 2017).

A curva cinética oferece parâmetros para o desenho de processos, de forma a serem utilizados para prever a curva total da extração e viabilizar o processo para escala industrial. Outra funcionalidade para a determinação do tempo ideal de extração é a identificação do tempo em que cada composto minoritário da oleaginosa é extraído, desta forma, pode-se realizar uma extração com mais acuidade para cada finalidade, evitando etapas posteriores de refino (SAWADA, 2012).

### 3.4 Caracterização dos ácidos graxos

Os ácidos graxos são classificados de acordo com o comprimento da cadeia de carbono, por número de ligações duplas e pelas configurações de cada ligação e podem ser classificados como saturados ou insaturados (Santos *et al.*, 2013). A maior parte dos ácidos graxos totais é encontrada em combinações, onde a maioria está esterificada com glicerol nos triglicerídeos, aproximadamente 20% estão esterificados com diterpenos e uma pequena proporção é encontrada nos ésteres esteróis (SPEER & SPEER, 2006).

A cromatografia gasosa (CG) (Figura 4) é uma técnica de separação e análise de misturas, onde os componentes são arrastados por uma fase móvel e posteriormente ocorre interação dos componentes na fase estacionária (EMBRAPA,2014).



Fonte: EMBRAPA (2014)

A fase móvel, ou gás de arraste, deve ser inerte, para não interagir com a amostra, fase estacionária ou superfície de instrumento. Assim, a amostra é injetada e arrastada pela fase móvel (gás de arraste), pela coluna que contém a fase estacionária (coluna CG aquecida), para que ocorra a separação da mistura. Com isto, o detector irá gerar um sinal elétrico proporcional à quantidade de substâncias encontradas, gerando o cromatograma. Os detectores mais usuais são o de ionização em chama (FID) e de captura de elétrons (ECD). O detector FID é mais usual quando se quer analisar compostos orgânicos, exibe alta sensibilidade, larga faixa linear de resposta, além de baixo custo e ruído (EMBRAPA, 2014).

### 3.5 Propriedades Antioxidantes

Um antioxidante pode ser definido como quaisquer substâncias que, quando presentes em baixa concentração comparada às de um substrato oxidável, retardam ou previnem significativamente a oxidação deste substrato (HALLIWELL e GUTTERIDGE, 2007).

Antioxidantes naturais protegem o corpo humano dos radicais livres e retardam o progresso de muitas doenças crônicas, bem como rancidez oxidativa em alimentos (ZHENG e WANG, 2001). As propriedades biológicas desses antioxidantes naturais têm sido amplamente atribuídas aos seus altos níveis de vários compostos fenólicos, como ácidos e flavonóides (GARZON *et al.*, 2010).

Todo óleo e amêndoa possuem frações hidrofílicas e lipofílicas, sendo bem diferentes em geral. A propriedade da fração hidrofílica é representada por compostos fenólicos e a fração lipofílica apresenta tocoferóis, carotenoides, fitoesteróis, clorofilas e os acilgliceróis. Estes compostos antioxidantes presentes nos óleos vegetais possuem uma série de efeitos na prevenção de doenças crônicas, criando uma barreira contra a ação de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, além de representarem uma bioatividade ao organismo (CASTELO BRANCO e TORRES, 2011).

Há uma crescente demanda na procura por alimentos funcionais em todo o mundo. As frutas e hortaliças, por sua vez, possuem um alto teor de compostos antioxidantes, diversas pesquisas estão associando esses alimentos com potencial antioxidante com a prevenção e diminuição dos danos oxidativos causados por espécies reativas de oxigênio, que incluem os radicais livres, ou seja, os antioxidantes possuem a capacidade de reagir com os radicais livres e assim restringir os efeitos maléficos ao organismo (COUTO e CANNIATTI-BRAZACA, 2010). De acordo com de Oliveira *et al.* (2019), esses antioxidantes são compostos fenólicos, que incluem a classe de ácidos fenólicos e seus derivados, flavonoides, tocoferóis, aminoácidos e ácido fítico. Dessa forma, esses compostos bioativos podem fazer o papel de removedores de radicais livres ou quelantes de metais, reduzindo essas espécies reativas de oxigênio e diminuindo o estresse oxidativo *in vivo* (da SILVA *et al.*, 2019).

Os antioxidantes naturais de óleos vegetais apresentaram potencial efeito na prevenção de doenças crônicas, pois são capazes de proteger sistemas biológicos

contra a ação de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, responsáveis por danos oxidativos aos lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos. Além de apresentarem bioatividade no organismo humano, os antioxidantes naturais protegem os óleos vegetais contra a ação de radicais livres que iniciam e perpetuam a peroxidação lipídica, que consiste na principal forma de degradação dos óleos vegetais e em importante fonte de prejuízos para a indústria de alimentos (CHAIYASIT, 2007). Dessa forma, os antioxidantes naturais presentes nos óleos vegetais têm sido foco de interesse científico e tecnológico nas áreas de ciência de alimentos e nutrição, a partir de duas abordagens principais: promoção de maior estabilidade oxidativa dos óleos e bioatividade no organismo humano. A capacidade antioxidante total dos óleos vegetais, sintetiza de forma integrada a ação dos antioxidantes, com potencial benefício para a saúde humana e para a estabilidade de óleos vegetais específicos (CASTELO BRANCO e TORRES, 2011).

Uma das técnicas utilizadas para detectar a capacidade antioxidantes de compostos, é o método baseado na eliminação do radical livre estável 2,2-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH). O efeito dos antioxidantes sobre o sequestro do radical DPPH é atribuído à habilidade destes compostos de doar hidrogênio (OLIVEIRA, 2015).

O ensaio do DPPH é utilizado para a determinação da capacidade antioxidante (ESPÍN *et al.* 2000, TUBEROSO *et al.* 2007 e VALAVANIDIS *et al.* 2004). Esse ensaio baseia-se na determinação da capacidade dos antioxidantes (da amostra ou do padrão) em reduzir o radical DPPH. A capacidade redutora da amostra é determinada através da redução da absorbância (515-528nm) do radical por 30 minutos ou até cessar a queda na absorbância (PRIOR *et al.*, 2005). O ensaio utiliza metanol como solvente para o DPPH e para as amostras (HUANG *et al.* 2005). No entanto, como o metanol não dissolve óleos comestíveis, são necessárias adaptações para os compostos lipofílicos dos óleos vegetais, por meio da utilização de solventes apropriados para amostras lipídicas. Espin *et al.* (2000) testaram o efeito da dissolução do DPPH e da fração apolar dos óleos vegetais com diferentes solventes orgânicos sobre a capacidade antioxidante. Os melhores resultados foram obtidos com o acetato de etila, sendo esse protocolo seguido em alguns estudos (TUBEROSO *et al.*, 2007 e VALAVANIDIS *et al.*, 2004).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materia prima, reagentes, solventes e equipamentos

As sementes de babaçu foram adquiridas na cidade de Parauapebas (6° 04' 04" S 49° 54' 07" O), no Estado do Pará/Brasil. As sementes foram embaladas a vácuo e armazenadas sob congelamento até o momento das análises (Figura 5).

**Figura 5: Sementes de babaçu embaladas a vácuo**



**Fonte: Aatoria Própria (2022)**

Para o presente trabalho foram utilizados os seguintes reagentes e solventes (Quadro 1).

**Quadro 1: Reagentes e solventes**

| Reagentes e Solventes                     | Marca            |
|-------------------------------------------|------------------|
| Alcool Isopropílico P.A. ACS <sup>1</sup> | Reatec           |
| Acetato de Etila <sup>1</sup>             | Neon             |
| Etanol <sup>1</sup>                       | Panreac          |
| Hexano P.A. <sup>1</sup>                  | Anidrol          |
| Éter Etilíco P.A. <sup>2</sup>            | Qhemis           |
| Álcool Etílico P.A. <sup>2</sup>          | Êxodo Científica |
| Heptano <sup>2</sup>                      | Êxodo Científica |

**Fonte: Aatoria Própria (2024)**

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Ponta Grossa/PR

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos-São Carlos/SP

Todos os outros reagentes eram de grau analítico, a Quadro 2 apresenta a lista de equipamentos que foram utilizados para as análises.

**Quadro 2: Equipamentos**

| Equipamentos                            | Marca           | Modelo     | Série           |
|-----------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| Agitador de Peneiras <sup>1</sup>       | Bertel          | 3410       | 10.09           |
| Balança analítica <sup>1</sup>          | Bel Engineering | Mark 205A  | 24916           |
| Banho maria <sup>1</sup>                | Fisatom         | 550        | 0989761         |
| Banho ultrassônico <sup>1</sup>         | Unique          | USC-1400A  | 040610          |
| Banho Ultratermostatizado <sup>1</sup>  | LimaTec         | LT 204/30  | 01112019BU00523 |
| Bomba de vácuo <sup>1</sup>             | LimaTec         | LT 215/20  | 03112020BV00128 |
| Espectrofotômetro UV-VIS <sup>1</sup>   | Femto           | 800 XI     | -               |
| Estufa de secagem <sup>1</sup>          | Odontobrás      | MOD-EL-1.6 | 4411020319      |
| Evaporador rotativo <sup>1</sup>        | Fisatom         | 801        | 0991375         |
| Termômetro digital <sup>1</sup>         | EOS ferramentas | EOS-TP101  | -               |
| Cromatógrafo Gasoso GC-FID <sup>2</sup> | Agilent         | 7890       | Não informado   |

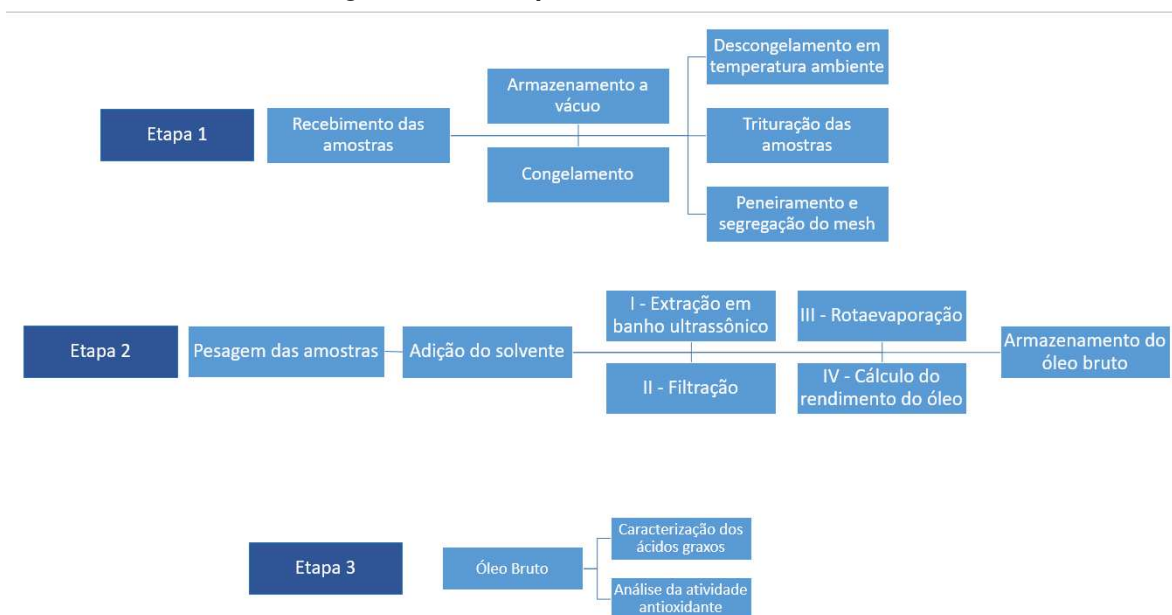
**Fonte: Autoria Própria (2024)**

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Ponta Grossa/PR

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos-São Carlos/SP

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus de Ponta Grossa, exceto a análise de cromatografia gasosa que foram realizados no Laboratório de Engenharia de Processos Enzimáticos (LabEnz) do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

A Figura 6 mostra as etapas que serão utilizadas no presente trabalho.

**Figura 6: Rota experimental**

**Fonte: Autoria Própria (2024)**

## 4.2 Preparo das amostras

No dia anterior as análises, as sementes de babaçu foram descongeladas em temperatura ambiente, secas em estufa a 40°C até peso constante e posteriormente trituradas. As sementes trituradas foram peneiradas por um agitador eletromagnético com o conjunto de peneiras redondas de aço inoxidável para análises granulométricas para obtenção de amostras padronizadas com o mesmo tamanho, conforme Figura 7.

**Figura 7: Agitador de peneiras**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

As amostras utilizadas foram as selecionadas pela peneira Tyler de mesh 20 com abertura da malha de 0,833 mm, utilizada para padronização, conforme Figura 8.

**Figura 8: Sementes trituradas selecionadas**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

## **4.3 Extração de óleo**

### **4.3.1 Extração assistida por ultrassom**

O equipamento de banho ultrassônico foi operado na frequência de 40kHz. A precisão da temperatura do banho ultrassônico foi verificada por um termômetro digital para que não excedesse dos 40°C e possivelmente causar degradação das propriedades de óleo.

Em um erlenmeyer foram pesadas, em gramas, as sementes de babaçu e acrescentadas o solvente pré-determinado, também em gramas. Foram vedados com papel filme e conduzidos ao banho ultrassônico.

A proporção amostra/solvente utilizada no processo extrativo foi definida por estudo prévio, apresentado no trabalho de Carbonar (2022), onde foi utilizada a proporção de 1:5.

Utilizou-se diferentes solventes orgânicos, como o hexano, etanol, isopropanol, e acetato de etila.

Durante a extração, foi observado para que o nível do líquido no erlenmeyer seja inferior ao do banho ultrassônico. As amostras foram colocadas em duplicatas, no centro do equipamento, com as mesmas distâncias das paredes, de forma que a frequência do banho ultrassônico as alcançasse com a mesma intensidade, conforme pode ser observado na Figura 9.

O processo de extração de óleo foi realizado sob várias condições onde a faixa de entrada de cada variável foi determinada previamente com base nos experimentos preliminares. O rendimento da extração foi medido em duplicata para cada amostra, e a média dos resultados foi relatada como os rendimentos da extração.

**Figura 9: Banho ultrassônico**



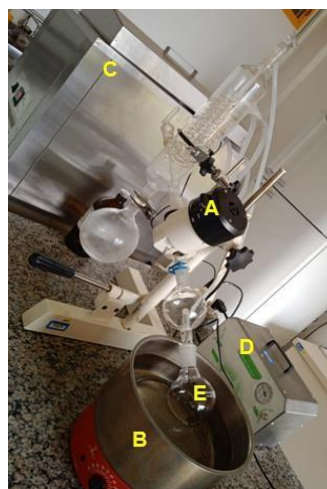
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Em seguida, realizou-se uma etapa de filtração para separar os resíduos sólidos da solução, utilizando um papel filtro qualitativo conforme Figura 10.

**Figura 10: Filtração**

Fonte: Autoria Própria (2022)

Posteriormente, o processo de remoção do solvente dos extratos realizou-se por um evaporador rotativo, equipado com uma bomba de vácuo, um banho ultratermostatizado e um banho maria, vide Figura 11 onde A é o evaporador rotativo, B é o banho maria, C é o banho ultratermostatizado, D é a bomba á vácuo e E é o balão com a amostra.

**Figura 11: Rotaevaporador**

Fonte: Autoria Própria (2022)

O óleo obtido em cada extração foi quantificado em porcentagem e armazenado em tubos do tipo ependorf ao abrigo da luz e calor.

O rendimento do óleo de semente de babaçu foi calculado pela seguinte expressão:

$$\text{Teor de óleo Bruto (\%)} = \frac{P - P_o}{P_a} \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

Onde “P” é o peso do balão com o óleo de babaçu após a rota evaporação, “P<sub>o</sub>” é a peso do balão vazio e “P<sub>a</sub>” é o peso da amostra da semente de babaçu triturada.

Uma balança analítica de precisão de 0,0001 g será usada para obter os resultados.

#### 4.4 Curva cinética

A curva cinética apresenta a forma de determinação do tempo de saturação da extração com o teor de óleo obtido.

A curva foi construída utilizando os dados de extração em termos do teor de óleo obtido nos tempos de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 minutos, para se definir o tempo de saturação do processo. Estas extrações foram realizadas em duplicata, não ultrapassando a temperatura de 40°C para que não houvesse interferência da temperatura nas propriedades do óleo extraído como, por exemplo, oxidação e degradação térmica. Nesta etapa utilizou-se o solvente hexano. Foram pesadas 3 gramas de amostra de semente de babaçu com diâmetro médio de 0,8 mm em erlenmeyer, sendo utilizada balança analítica com precisão de 0,0001 g. Em seguida o solvente foi acrescentado nas amostras pesadas, na razão amostra (g) /solvente (g) de 1:5. Os erlenmeyers foram vedados com papel filme e inseridos no banho ultrassônico, sendo o processo de extração realizado nos tempos definidos para a construção da curva cinética.

Após o tempo de extração ser alcançado, o extrato foi filtrado para um balão de fundo redondo, pesado previamente, com auxílio de um funil com filtro de papel. Em seguida, o balão com a amostra foi acoplado em rotaevaporador para remoção dos solventes. Finalizada a evaporação do solvente, o balão foi depositado em um dessecador até peso constante e registrada sua massa para o cálculo de rendimento de acordo com a equação 1.

Os dados de teor de óleo para cada tempo foram plotados para determinação da curva cinética, onde foi possível avaliar o tempo de saturação em que a porcentagem de óleo permaneceu constante. Com a análise desta curva, foi definido um tempo fixo para as demais extrações.

## 4.5 Caracterização das propriedades do óleo

### 4.5.1 Cromatografia Gasosa

Os ácidos graxos livres foram quantificados por cromatografia gasosa de acordo com metodologia adaptada do Catálogo de Agilent Technologies (2011). A quantificação foi realizada na Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, na cidade de São Carlos, SP.

Foi utilizado um cromatógrafo gasoso (7890A, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA), equipado com um detector de ionização a chama (FID, 250 ° C), um injetor split-splitless (250 ° C, proporção de divisão 40: 1) e uma coluna cromatográfica Supelco SP 2560 (100m x 250 µm x 0,2 µm). O gás de arraste utilizado foi Hélio na vazão de 2 mL/min. A programação de temperatura foi de 100° C durante 4 minutos, aumentando 3°C/min até 240 min, mantendo esta temperatura por 20 minutos. Temperatura do injetor e detector foi de 250°C.

Para a quantificação do conteúdo total de ácidos graxos livres foi realizada uma etapa prévia de esterificação/transesterificação da matéria glicerídica para a sua quantificação como ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME).

Foram pesados 150 mg da amostra em tubo falcon, pipetou-se 1,5 mL de Heptano e 75 µl da solução KOH 2molL<sup>-1</sup> metanólico, agitou-se em vortex por 1 minuto e em seguida centrifugou-se por 3 min a 1500 rpm. Pipetou-se a fase leve e foi armazenado em vial a uma temperatura de -18°C para a leitura posterior em cromatógrafo gasoso.

### 4.5.2 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH

O método DPPH (BRAND-WILLIAMS *et al.*, 1995) é baseado na captura do radical por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância a 515 nm. Esse método foi modificado por SÁNCHEZ-MORENO *et al.* (1998) para medir os parâmetros cinéticos. O DPPH é um radical livre que pode ser obtido por dissolução do reagente em meio orgânico.

A determinação da atividade antioxidante foi baseada no método fotolorimétrico do DPPH (2,2-difenil-1-picrihidrazila) adaptado de Kalantzakis *et al.* (2006), onde utilizou-se a solução de DPPH em acetato de etila na concentração de 200 µg/mL. Após o preparo da solução, a mesma foi armazenada em abrigo de luz

durante 30 min e posteriormente foi lida a absorbância no espectrofotômetro em 512 nm, sendo o resultado expresso em porcentagem de inibição.

Utilizou-se ácido ascórbico para realizar a curva padrão do DPPH. O preparo da solução de DPPH consistiu-se na pesagem de 2,4 mg de DPPH, que foi dissolvido em acetato de etila no balão volumétrico de 100 mL. Para as soluções de ácido ascórbico, foi utilizado 1 mL em diluições nas concentrações. Após a construção da curva padrão, realizou-se as diluições do óleo extraído com o acetato de etila, resultando em uma amostra de 1 mL contendo 40% de óleo, a segunda amostra contendo 70% e a terceira amostra de óleo puro (100%). Adicionou-se 4 mL da solução de DPPH e reservou-se ao abrigo da luz por 30 min, sendo em seguida realizada a leitura da absorbância no espectrofotômetro em 512 nm. As análises foram realizadas em duplicatas (Bençal, 2024).

A porcentagem de inibição de DPPH foi calculado conforme Equação 2 sendo que quanto maior a porcentagem de redução, maior será a capacidade antioxidante da amostra (Bençal, 2024). Com estes dados construiu-se a curva de concentração, em miligramas de ácido ascórbico equivalente por litro de solução, pela porcentagem de inibição de DPPH.

$$\% \text{ inibição} = \frac{\text{Abs Branco} - \text{Abs Amostra}}{\text{Abs Branco}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Abs branco = absorbância do branco (nm); Abs amostra: absorbância da amostra (nm).

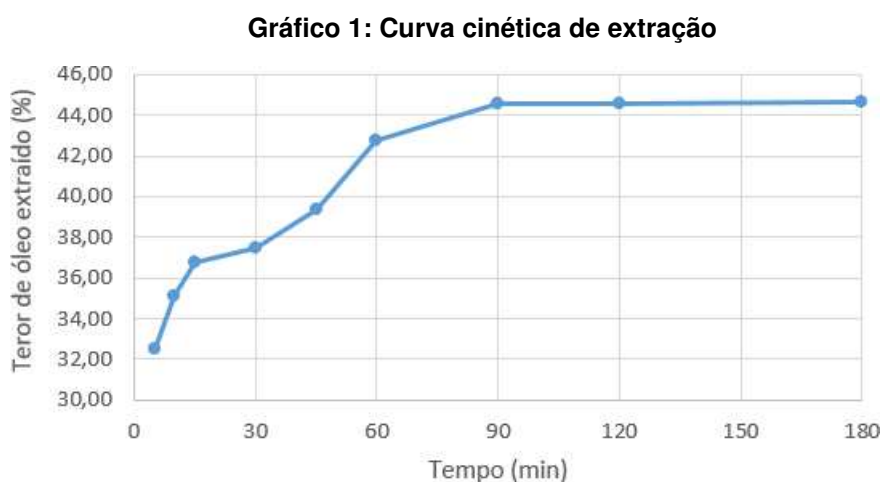
## 5 RESULTADOS ENCONTRADOS

O diâmetro das partículas é relevante para a avaliação da resistência interna de transferência de massa. A fim de aumentar o rendimento global da extração, a redução do diâmetro médio das partículas é favorável, uma vez que proporciona o aumento na área da superfície de contato com o solvente. Isto diminui a distância que o soluto percorre dentro da partícula porosa até a superfície (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Segundo Silva *et.al* (2015), quanto menor o tamanho da partícula, maior será o rendimento no processo de extração, pois o acesso do solvente até o soluto será facilitado.

Carbonar (2022) considerou em sua pesquisa de extração de óleo de café verde em banho ultrassônico, que menor diâmetro de partícula aumenta o rendimento do óleo extraído, porém com a limitação de não se utilizar partículas menores do que 0,7 mm de diâmetro, já que podem ser arrastadas no decorrer do processo, inviabilizando a caracterização e determinação do rendimento do óleo.

### 5.1 Curva cinética

Os dados de teor de óleo obtidos em cada tempo de extração para o solvente hexano foram utilizados para construção da curva cinética, apresentada no Gráfico 1. Nesta etapa extraiu-se com proporção 1/5 (amostra/solvente) realizado em duplicata, sendo as amostras constituídas de diâmetros médios de 0,8 mm.



Fonte: Autoria Própria (2022)

Nota-se no gráfico<sup>1</sup> que até os 90 minutos houve um aumento crescente no teor de óleo extraído, após os 90 minutos, o resultado do teor de óleo é mantido, sendo assim, definiu-se o tempo padrão de extração para as próximas etapas como sendo de 90 minutos.

Na maioria dos casos os solventes não polares tem rendimento superior em comparação com solventes polares, contudo nos resultados do ultrassom o acetato de etila apresentou um rendimento maior de óleo do que o hexano. Os solventes ligeiramente polares aceleraram a destruição da membrana citoplasmática, contribuindo para extrair o óleo de forma mais completa (TIR *et al.*, 2012). Também foi evidenciado esse caso no estudo realizado por CAO *et al.* (2022), que indicaram que solventes ligeiramente polares foram mais eficazes para a extração de óleos de sementes de peônia.

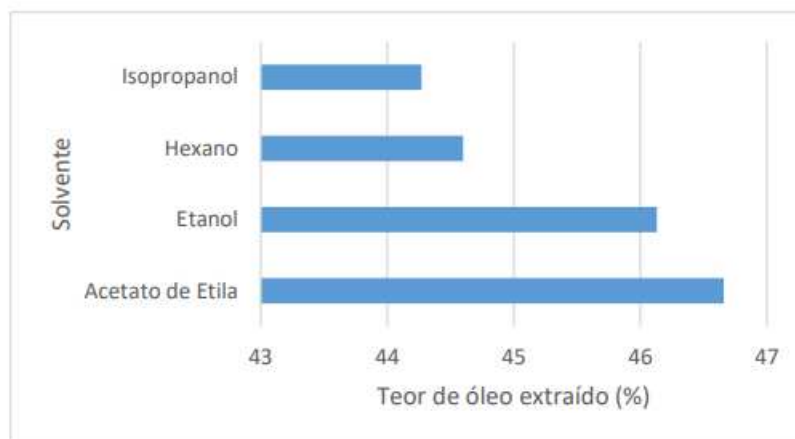
A extração ultrassônica apresenta vantagens por ter menor tempo de extração, com uma relação reduzida entre solvente e amostra e com temperaturas inferiores, devido à potência das ondas ultrassônicas no processo, podendo evitar deterioração térmica aos extratos e diminuir a perda de compostos bioativos (PEREIRA *et al.*, 2017).

No estudo de Bençal (2024) o acetato de etila, um éster de média polaridade, foi o solvente que proporcionou maiores rendimentos para o óleo extraído da semente de cupuaçu. Assim, a utilização do acetato de etila apresenta-se como uma alternativa ao hexano, este com maior toxicidade e inflamabilidade em relação à aquele, nos processos de extração de óleo.

## 5.2 Teor de óleo em diferentes solventes

Foram realizadas as extrações utilizando os mesmos critérios em relação a tempo de extração, proporção amostra/solvente e tamanho médio das partículas, alternando apenas o solvente utilizado entre hexano, isopropanol, etanol e acetato de etila para comparar o teor de óleo obtido para cada solvente e armazenamento para posterior análises de caracterização dos ácidos graxos, e atividade antioxidante.

Os resultados dos teores de óleos extraídos foram próximos, conforme pode ser observado no Gráfico 2, variando de 44,3% para o isopropanol a 46,7% para o acetato de etila.

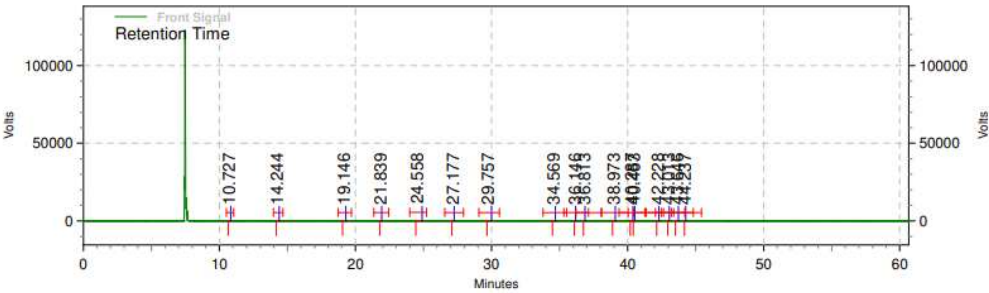
**Gráfico 2: Teor de óleo extraído x solvente**

Fonte: Autoria Própria (2022)

### 5.3 Perfil dos ácidos graxos livres (AGL)

Os óleos extraídos utilizando diferentes solventes foram submetidos a análise de cromatografia gasosa para identificação do perfil dos ácidos graxos livres onde pode-se observar os cromatogramas conforme seguem as figuras abaixo. Foram utilizadas as mesmas condições de temperatura e tempo de retenção para a determinação da análise.

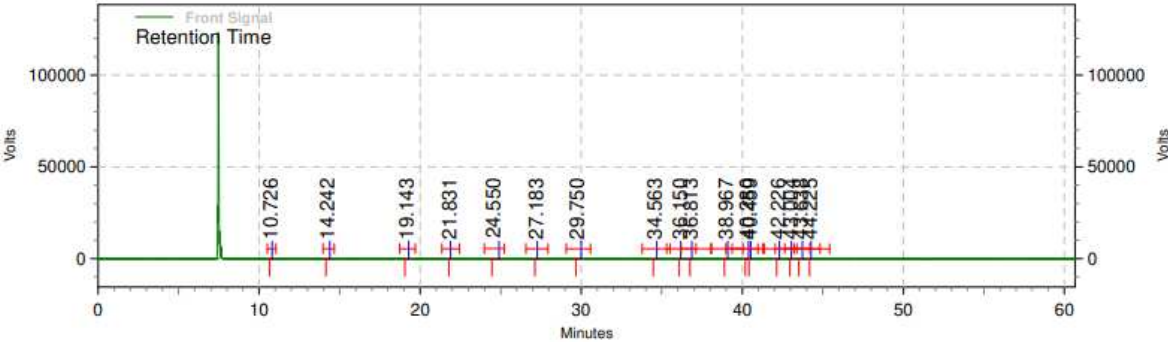
Figura 13: Cromatograma do óleo extraído com acetate de etila



| Front Signal Results |         |        |         |             |
|----------------------|---------|--------|---------|-------------|
| Retention Time       | Area    | Area % | Height  | Name        |
| 10.727               | 33575   | 0.48   | 14301   | c6          |
| 14.244               | 454451  | 6.43   | 167554  | c8          |
| 19.146               | 416706  | 5.90   | 142662  | c10         |
| 21.839               | 2459    | 0.03   | 680     | c11         |
| 24.558               | 3250963 | 46.00  | 1027884 | c12         |
| 27.177               | 3082    | 0.04   | 875     | c13         |
| 29.757               | 1095661 | 15.50  | 364068  | c14         |
| 34.569               | 579971  | 8.21   | 195741  | c16         |
| 36.146               | 1449    | 0.02   | 523     | c16:1       |
| 36.813               | 1211    | 0.02   | 425     | C17         |
| 38.973               | 248162  | 3.51   | 83775   | c18         |
| 40.287               | 816211  | 11.55  | 270991  | c18:1 cis   |
| 40.463               | 7202    | 0.10   | 2543    | c18:2 trans |
| 42.228               | 133920  | 1.89   | 44849   | c18:2       |
| 43.013               | 3953    | 0.06   | 1420    | c20         |
| 43.646               | 14384   | 0.20   | 2051    | c18:3 gamma |
| 44.237               | 4131    | 0.06   | 1387    | c20:1 cis   |
| Totals               | 7067491 | 100.00 | 2321729 |             |

Fonte: Autoria Própria (2024)

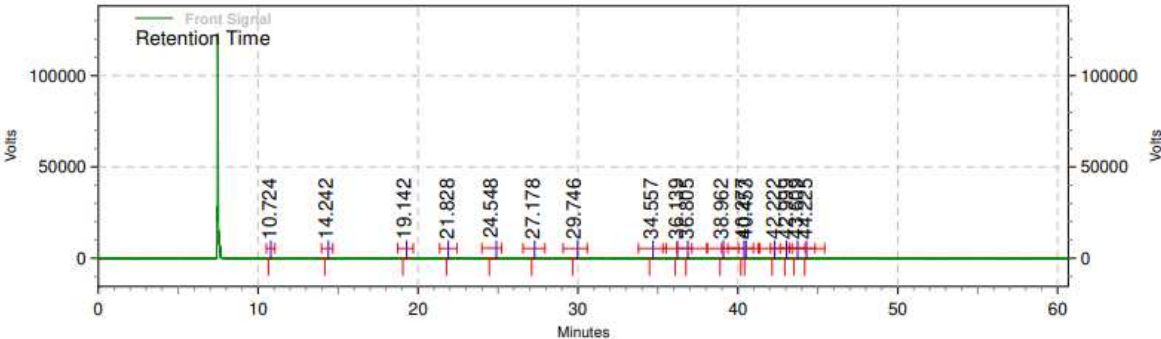
Figura 14: Cromatograma do óleo extraído com etanol



| Front Signal Results |         |        |         |             |
|----------------------|---------|--------|---------|-------------|
| Retention Time       | Area    | Area % | Height  | Name        |
| 10.726               | 24798   | 0.48   | 10396   | c6          |
| 14.242               | 329338  | 6.41   | 121178  | c8          |
| 19.143               | 302389  | 5.88   | 103280  | c10         |
| 21.831               | 1572    | 0.03   | 508     | c11         |
| 24.550               | 2366698 | 46.04  | 768610  | c12         |
| 27.183               | 2393    | 0.05   | 678     | c13         |
| 29.750               | 798061  | 15.52  | 267419  | c14         |
| 34.563               | 422498  | 8.22   | 142762  | c16         |
| 36.150               | 1431    | 0.03   | 457     | c16:1       |
| 36.813               | 1086    | 0.02   | 332     | C17         |
| 38.967               | 181207  | 3.52   | 61333   | c18         |
| 40.280               | 593389  | 11.54  | 196976  | c18:1 trans |
| 40.459               | 5467    | 0.11   | 1879    | c18:1 cis   |
| 42.226               | 97291   | 1.89   | 32407   | c18:2       |
| 43.004               | 3207    | 0.06   | 1134    | c20         |
| 43.638               | 7856    | 0.15   | 1264    | c18:3 gamma |
| 44.225               | 2325    | 0.05   | 884     | c20:1 cis   |
| Totals               | 5141006 | 100.00 | 1711497 |             |

Fonte: Autoria Própia (2024)

Figura 15: Cromatograma do óleo extraído com hexano

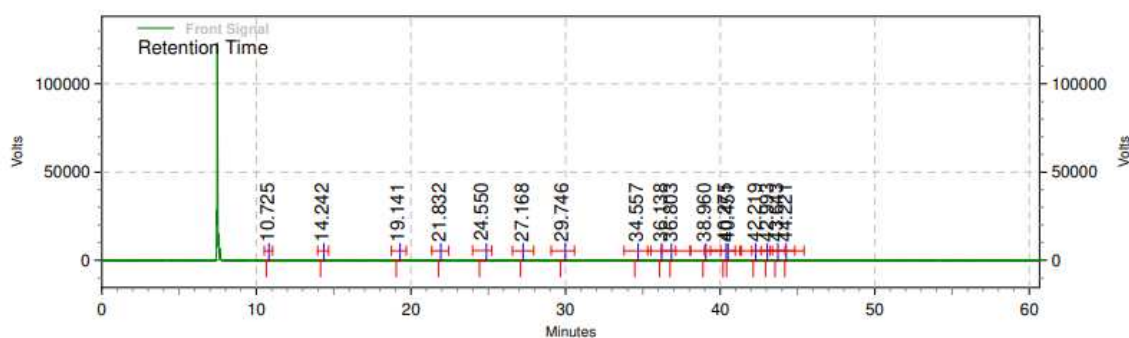


Front Signal  
Results

| Retention Time | Area    | Area % | Height  | Name        |
|----------------|---------|--------|---------|-------------|
| 10.724         | 25566   | 0.48   | 10766   | c6          |
| 14.242         | 344991  | 6.43   | 127071  | c8          |
| 19.142         | 316796  | 5.90   | 108073  | c10         |
| 21.828         | 1590    | 0.03   | 520     | c11         |
| 24.548         | 2473126 | 46.08  | 801092  | c12         |
| 27.178         | 2611    | 0.05   | 715     | c13         |
| 29.746         | 832302  | 15.51  | 279258  | c14         |
| 34.557         | 439542  | 8.19   | 148862  | c16         |
| 36.139         | 1499    | 0.03   | 473     | c16:1       |
| 36.805         | 1171    | 0.02   | 356     | C17         |
| 38.962         | 188390  | 3.51   | 63860   | c18         |
| 40.277         | 618839  | 11.53  | 206800  | c18:1 trans |
| 40.453         | 5522    | 0.10   | 1990    | c18:1 cis   |
| 42.222         | 101579  | 1.89   | 33959   | c18:2       |
| 42.999         | 3326    | 0.06   | 1162    | c20         |
| 43.609         | 7298    | 0.14   | 1188    | c18:3 gamma |
| 44.225         | 2350    | 0.04   | 890     | c20:1 cis   |
| Totals         | 5366498 | 100.00 | 1787035 |             |

Fonte: Autoria Própia (2024)

Figura 16: Cromatograma do óleo extraído com isopropanol



#### Front Signal Results

| Retention Time | Area    | Area % | Height  | Name        |
|----------------|---------|--------|---------|-------------|
| 10.725         | 29243   | 0.46   | 12419   | c6          |
| 14.242         | 404719  | 6.37   | 148961  | c8          |
| 19.141         | 373660  | 5.88   | 127638  | c10         |
| 21.832         | 1761    | 0.03   | 543     | c11         |
| 24.550         | 2925139 | 46.06  | 935162  | c12         |
| 27.168         | 2906    | 0.05   | 853     | c13         |
| 29.746         | 986166  | 15.53  | 328396  | c14         |
| 34.557         | 523419  | 8.24   | 176060  | c16         |
| 36.138         | 1570    | 0.02   | 498     | c16:1       |
| 36.803         | 967     | 0.02   | 370     | C17         |
| 38.960         | 223500  | 3.52   | 75707   | c18         |
| 40.275         | 737384  | 11.61  | 244333  | c18:1 trans |
| 40.451         | 6331    | 0.10   | 2273    | c18:1 cis   |
| 42.219         | 122178  | 1.92   | 40686   | c18:2       |
| 42.993         | 4141    | 0.07   | 1431    | c20         |
| 43.643         | 5521    | 0.09   | 835     | c18:3 gamma |
| 44.221         | 2644    | 0.04   | 1030    | c20:1 cis   |
| Totals         | 6351249 | 100.00 | 2097195 |             |

Fonte: Autoria Própria (2024)

A Tabela 4, indica a porcentagem para cada composto, variando o solvente utilizado na extração, nota-se que o desvio padrão é inferior a 0,04, indicando que mesmo variando o solvente o perfil dos ácidos graxos são semelhantes. Também foi possível verificar que os resultados de ácidos graxos encontrados corroboram com a literatura. Em Gumiero (2011) a composição química do óleo de babaçu era de 4 a 10% para o ácido caprílico (C8), 4 a 12% para o ácido cáprico (C10), 38 a 54% para o ácido láurico (C12), 12 a 28% para o ácido mirístico (C14), 4 a 12% para o ácido palmítico (C16), 1 a 7% para o ácido esterárico (C18) e 5 a 15% para o ácido oléico (C18:1).

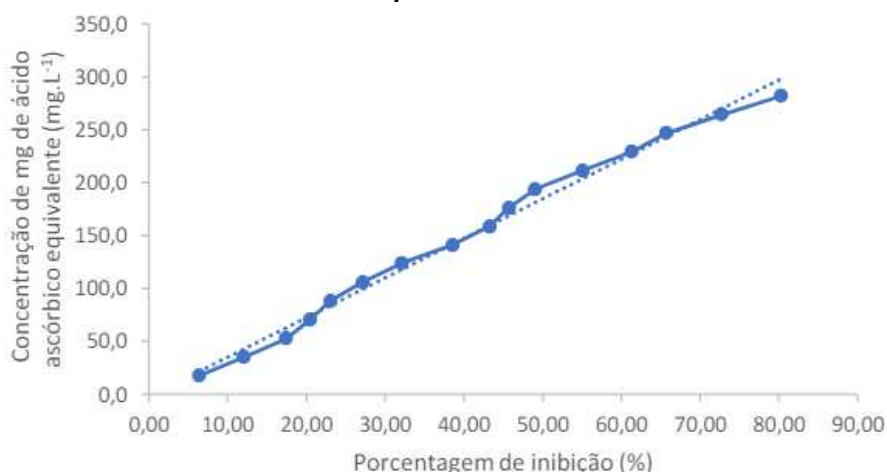
**Tabela 4: Porcentagem de ácidos graxos**

|       | Hexano % | Acetato de Etila % | Etanol % | Isopropanol % | Desvio padrão |
|-------|----------|--------------------|----------|---------------|---------------|
| C6    | 0,48     | 0,48               | 0,48     | 0,46          | 0,01          |
| C8    | 6,43     | 6,43               | 6,41     | 6,37          | 0,03          |
| C10   | 5,90     | 5,90               | 5,88     | 5,88          | 0,01          |
| C12   | 46,08    | 46,00              | 46,04    | 46,06         | 0,03          |
| C14   | 15,51    | 15,5               | 15,52    | 15,53         | 0,02          |
| C16   | 8,19     | 8,21               | 8,22     | 8,24          | 0,02          |
| C18   | 3,51     | 3,51               | 3,52     | 3,52          | 0,01          |
| C18:1 | 11,53    | 11,55              | 11,54    | 11,61         | 0,04          |

**Fonte Autoria Propria (2024)**

#### **5.4 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH**

A atividade antioxidante foi realizada pelo método de redução do radical DPPH, um radical livre estável devido à distribuição do elétron desemparelhado por toda a sua estrutura, que apresenta uma cor púrpura com um pico de absorção máximo em 515 nm, com o intuito de quantificar a atividade para cada óleo obtido por extração utilizando diferentes solventes. O método foi selecionado com base em sua simplicidade, rapidez, disponibilidade do equipamento necessário (espectrofotômetro de absorção UV/visível) e a ampla aplicação com extratos naturais (Bençal, 2024). Quando um antioxidante ou uma espécie radical atua, o DPPH é reduzido a 2,2-difenil-picril-hidrazina, alterando para uma coloração amarelada, onde a atividade antioxidante é quantificada pelo decréscimo na absorção da solução de controle em comparação com a solução contendo o extrato (SHI *et al.* 2022). Em se tratando da determinação da atividade antioxidante das amostras, utilizou-se a curva padrão de ácido ascórbico realizado no experimento de Bençal (2024), sendo o mesmo escolhido devido ao seu valor comercial inferior (Gráfico 3).

**Gráfico 3: Curva padrão de ácido ascórbico**

**Fonte: Bençal (2024)**

A curva padrão tem  $R^2=0,9918$  e a equação da reta da curva padrão:

$$y = 3,741x - 2,3157 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Y = concentração em mg de ácido ascórbico equivalente (mg.L<sup>-1</sup>)

X = porcentagem de inibição (%);

Com a análise visual é possível verificar se as amostras possuem alto teor de atividade antioxidante, uma vez que este método é baseado na mudança de coloração, inicialmente roxo e após reação amarelado (MONTEIRO, 2017).

No espectrofotometro, realizou a leitura do branco, onde foi inserido na cubeta 0,1mL de acetato de etila e 3,9mL da solução de DPPH, depois prosseguiu com as leituras das amostras, conforme consta resultados na Tabela 5, calculou-se a porcentagem de inibição de DPPH de cada amostra, utilizando a absorbância do controle (0,781 nm) e seguindo a Equação 3. Determinou-se a quantidade em miligramas de ácido ascórbico equivalente por litro de óleo em cada amostra com a equação da reta obtida na curva padrão, onde os resultados estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5: Porcentagem de inibição**

| Absorbância (nm) | Solvente extração | % de inibição | média | Ácido ascórbico equivalente (mg/L) | média |
|------------------|-------------------|---------------|-------|------------------------------------|-------|
| 0,758            | acetato           | 2,94          |       | 9                                  |       |
| 0,762            | acetato           | 2,43          | 2,52  | 7                                  | 7,10  |
| 0,764            | acetato           | 2,18          |       | 6                                  |       |
| 0,713            | etanol            | 8,71          |       | 30                                 |       |
| 0,714            | etanol            | 8,58          | 8,15  | 30                                 | 28,18 |
| 0,725            | etanol            | 7,17          |       | 25                                 |       |
| 0,749            | hexano            | 4,10          |       | 13                                 |       |
| 0,754            | hexano            | 3,46          | 4,27  | 11                                 | 13,65 |
| 0,74             | hexano            | 5,25          |       | 17                                 |       |
| 0,709            | isopropanol       | 9,22          |       | 32                                 |       |
| 0,715            | isopropanol       | 8,45          | 9,30  | 29                                 | 32,49 |
| 0,701            | isopropanol       | 10,24         |       | 36                                 |       |

**Fonte: Autoria Própria (2024)**

Verifica-se que os solventes isopropanol (média 9,3%) e etanol (8,15%) foram os que apresentaram valores maiores de atividade antioxidante, conforme Tabela 5, enquanto hexano (4,27% e acetato de etila (2,52%) obtiveram resultados inferiores. Observa-se que há uma correlação entre a polaridade e a atividade antioxidante, onde quanto nota-se maior o carácter apolar do solvente, apresenta-se menor a atividade antioxidante. Essa correlação pode ser um indício de que os compostos fenólicos tendem a formar polímeros, como a catequina e a epicatequina, que estão em sua fórmula estrutural isolada (Bençal, 2024). Para o cupuaçu, o isopropanol e o etanol, possuem em suas estruturas um grupo hidroxila que confere à molécula uma estrutura polar, fazendo com que a interação com os compostos fenólicos majoritários tenha uma melhor interação eletrostática em relação ao hexano e o acetato de etila (KUGLER *et al.*, 2023).

Pereira *et al.* (2017), também discutiram sobre a influência da polaridade do solvente na extração de compostos bioativos da semente de maracujá, uma vez que encontraram as maiores atividades antioxidantes nos extratos obtidos com etanol. Os mesmos autores atribuem essa relação ao caráter polar do etanol que possui capacidade de solubilizar compostos polares com propriedades antioxidantes da amostra, como o  $\alpha$  e  $\gamma$ -tocoferol (vitamina E). Os índices obtidos para o óleo extraído da semente de babaçu mostraram satisfatórios na eliminação dos radicais DPPH, apresentando alta capacidade oxidante.

## 6 CONCLUSÃO

Os óleos obtidos da semente do babaçu por meio da extração em banho ultrassônico com acetato de etila, etanol e isopropanol apresentaram resultados similares ao comparar com os resultados do óleo obtido pelo solvente hexano, demonstrando que é possível a substituição e utilizando de um solvente menos tóxico. O extrato que obteve maior rendimento foi o acetato de etila, superior a 46%, o acetato de etila é um éster orgânico obtido pela reação do ácido acético com etanol e apresenta baixa toxicidade. Após a construção da curva cinética, verificou-se o tempo de extração de 90 minutos, que foi definido como tempo ideal para as demais extrações. Para análise de DPPH, através da curva padrão do ácido ascórbico foi possível estabelecer a equação para determinação da porcentagem de inibição, demonstrando que o óleo possui atividade antioxidante, em consonância com a literatura que afirma que essa característica é devido a presença do ácido láurico. Na cromatografia gasosa foi possível verificar a expressiva quantidade de ácido láurico presente nos extratos, em torno de 46%, embora na literatura apresenta cerca de 60%. Conclui-se que os extratos obtidos com solventes menos tóxicos apresentaram resultados satisfatório e até mesmo superiores ao extrato obtido pelo hexano, demonstrando a viabilidade da substituição desse solvente sem degradar as características do óleo.

Os óleos obtidos da semente do babaçu demonstraram ser um subproduto promissor devido as características avaliadas. A busca na literatura científica mostrou uma escassez de pesquisas utilizando óleo de semente de frutas nativas como fonte alternativa. A presença de atividade antioxidante mostra ser viável um estudo para avaliar a utilização desse óleo em produtos farmacêuticos e/ou alimentícios além disso, a concentração significativa de ácido láurico sugere-se a viabilidade de produção de biodiesel.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, F. R, *et al.* **Utilization of metal complexes as catalysts in the transesterification of Brazilian vegetable oils with different alcohols.** J. Mol. Catal. A: Chem, 209, 29-33, 2004.
- AGILENTE TECHNOLOGIES. **The essential chromatography and spectroscopy** Catalog. ed. Canadá: [s.n.], 2012.
- AHSHAWAT, M. S.; SARAF, S. **Preparation and characterization of herbal creams for improvement of skin viscoelastic properties.** International Journal of Cosmetic Science, Oxford, v. 30, n. 3, p. 183-193, 2008.
- AMORIM, E., *et al.* **Efeito do uso tópico do extrato aquoso de *Orbignya phalerata* (babaçu) na cicatrização de feridas cutâneas - estudo controlado em ratos.** Acta Cirúrgica Brasileira, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 67-76, 2006.
- AMORIM, F.E.; **Capacidade antioxidante, compostos bioativos e atividade antimicrobiana in vitro em amêndoa e óleo de babaçu (*orbignya oleifera*).** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Mato Grosso, Engenharia de Alimentos. Barra do Garças-MT, 2020.
- ANWAR, M., RASUL, M., ASHWATH, N., **Optimization of biodiesel production from stone fruit kernel oil.** Energy Procedia 160, 268-276, 2019.
- AQUINO, J. S. **Avaliação físico-química e experimental do óleo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) em ratos e da sua utilização em formulação de biscoitos.** 2011. Tese de Doutorado (Doutorado em Nutrição) – Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2011.
- ARBOS, K. A.; STEVANI, P. C.; CASTANHA, R. F. **Atividade antimicrobiana, antioxidante e teor de compostos fenólicos em casca e amêndoa de frutos de manga,** Revista Ceres, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 161-165, 2013.
- AYALA-ZAVALA, J.F., *et al.* **Agro-industrial potential of exotic fruit by products as a source of food additives.** Food Research International, v. 44, p.1866– 1874, 2011.
- AZIZ, N.H., *et al.* **Comparative antibacterial and antifungal effects of some phenolic compounds.** Microbios, Cambridge, v.93, n.374, p.43-54, 1998.
- BARROQUEIRO, E.S., *et al.* **Immunomodulatory and antimicrobial activity of babassu mesocarp improves the survival in lethal sepsis.** Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine, New York, v. 1-7, 2016.
- BATISTA, G. L. A. S, *et al.* **Extração do óleo da borra do café: Alternativa para Redução dos Impactos Ambientais.** XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química – Fortaleza/CE, 2016.

BAUER, L. C., *et al.* **Physicochemical and thermal characterization of babassu oils (*Orbignya phalerata* Mart.) obtained by different extraction methods.** Food Research International, 137, Article 109474, 2020.

BENÇAL, G.T. **Avaliação do óleo da semente de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) extraído por banho ultrassônico e pelo método de Soxhlet com diferentes solventes.** Dissertação (Mestrado Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2024.

BRUM, A.S., *et al.* **Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal.** Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Artigo, 2009.

CARBONAR, H.L. **Avaliação do uso do etanol e do isopropanol como alternativa ao n-hexano na extração do óleo de café verde (*coffea arabica*) em banho ultrassônico e caracterização dos extratos obtidos.** Dissertação (Mestrado Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

CARRAZZA, Luis Roberto; SILVA, Mariane Lima da; ÁVILA, João Carlos Cruz. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do babaçu.** Brasília – DF. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasil, 2012.

CASTELO-BRANCO, V. N.; TORRES, A.G. **Capacidade antioxidante total de óleos vegetais comestíveis: determinantes químicos e sua relação com a qualidade dos óleos Total.** Revista de Nutrição, v. 24, n 1, p. 173-187, 2011.

CINELLI, BA, *et al.* **Hidrólise granular do amido de resíduo agroindustrial de babaçu: um bioprocesso no contexto da biorrefinaria.** Combustível 124, 41-48, 2014.

COELHO, M.A.Z., *et al.* **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde.** Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 19, n. 1, p. 33- 42, 2001.

COUTO, M. A. L.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. **Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 1, p. 15-19, 2010

CRUZ, E. T. L. **Caracterização do mesocarpo de babaçu (*Orbignya* sp.): termoanálise (TG/DTA) e avaliação do conteúdo de amido.** 2011. Monografia do curso de Farmácia. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

DAGOSTIN João L. A. **Estudo da extração etanólica de óleo de soja utilizando éteres como co-solventes.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DALMOLIN, Ireda A. L. **Determinação de dados de equilíbrio líquido- líquido de sistema contendo óleo de farelo de arroz refinado/etanol anidro/água/hexano.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade de Campinas, 2009.

DIAS, T. **Determinação do teor de fenólicos totais (Folin-Ciocalteu) - espectrofotometria.** Universidade Federal De Goiás, Faculdade De Nutrição Laboratório de nutrição e análise de alimentos, versão 2, 6p, 2016.

DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZALEZ, M. **Reutilization of mango byproducts: study of the effect of extraction solvent and temperature on their antioxidant properties.** Journal of Food Science, Hoboken, v. 77, n. 1, p. C80-C88, 2012.

EGGERS, R.; JAEGER, P. **Extraction Systems.** In: TZIA, C.; LIADALIS, G. (Ed.) Extraction Optimization in Food Engineering. CRC Press. 438p., 2003.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Consumo Mundial de Café Atinge 165 Milhões de Sacas no Ano Cafeeiro 2018-2019.

ESPÍN JC, SOLER-RIVAS C, WICHES HJ. **Characterization of the total free radical scavenger capacity of vegetable oils and oil fractions using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical.** J Agric Food Chem; 48:648-56, 2000.

FREITAS, Suely P.; LAGO, Regina C.A.; **Equilibrium data for the extraction of coffee and sunflower oils with ethanol.** Brazilian Journal of Food Technology, vol.10, n.3, 2007.

GABRIEL, L.; **Extração assistida por banho ultrassônico de óleo de café verde (coffea arabica) utilizando etanol e hexano como solventes e caracterização dos extratos por cromatografia gasosa e ressonância magnética nuclear de hidrogênio.** Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

GAI, Q. Y., *et al.* **Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from Isatis indigotica seeds and its evaluation of physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities.** Industrial Crops and Products, v. 45, n. 1,p. 303– 311, 2013.

GAMACHE, P., RYAN, E., ACWORTH, I.N. **Analysis of phenolic and flavonoid compounds in juice beverages using high-performance liquid chromatography with coulometric array detection.** Journal of Chromatography, Amsterdam, v.635, n.1, p.143-150, 1993.

GARZON, GA, *et al.* **Composição química, antocianinas, fenólicos não antocianinas e atividade antioxidante de mirtilo silvestre (Vaccinium meridionale Swartz) da Colômbia.** Food Chemistry, 122, 980-986, 2010.

GAYOSSO-GARCÍA, L. E.; YAHIA, E.M.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. **Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (Carica papaya L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI.** Food Research International, v.44, p.1284-1291, 2011.

GOMES, AC.; *et al.* **Cinética da Extração do Óleo de Babaçu Visando a Produção de Biodiesel** Centro Científico Conhecer, 2013.

GONZÁLEZ, C.O.B., *et al.* **Evaluación preliminar del etanol anhidro como solvente en la extracción de aceite de semillasde jatropa (*Jatropha curcas* L.).** Grasas y Aceites, vol. 61(3), p.295-302, 2010.

GUMIERO, V.C. **Desenvolvimento e avaliação de nanoemulsões à base de óleo de babaçu (*ORBIGNYA* oleífera) e extratos vegetais (*Areca catechu*, *Glycyrrhiza glabra* e *Portulaca oleracea*) para uso pós-sol.** Dissertação. Universidade de São Paulo, 2011.

GUO, H., *et al.* **Extraction optimization and effects of extraction methods on the chemical structures and antioxidant activities of polysaccharides from snow chrysanthemum (*Coreopsis Tinctoria*).** Polymers (Basel), 11, 2019.

HETTIARACHCHI, D., *et al.* **Western Australian sandal wood seed oil: new opportunities.** Lipid Technology, High Wycombe, v. 22, n. 2, p. 27-29, 2010.

HUANG D, OU B, PRIOR R. **The Chemistry behind antioxidant capacity assays.** J Agric Food Chem. 53:1841-56, 2005.

HUBER, K., *et al.* **Caracterização química do resíduo agroindustrial da manga ubá (*Mangifera indica* L.): Uma perspectiva para a obtenção de antioxidantes naturais,** Revista Brasileira de Tecnologia agroindustrial, v. 06, n. 01, p. 640-654, 2012.

IVANOVA, A., *et al.* **Transformation of cholanic acid derivatives into pharmacologically active esters of phenolic acids by heterogeneous Wittig reaction.** Zeitschrift fuer Naturforschung, Tuebingen, v.52, n.7-8, p.516-521, 1997.

JALILI, F., *et al.* **Optimization of ultrasound-assisted extractionof oil from canola seeds with the use of response surface methodology.** Food Ana Methods 11, 598–612, 2018.

KOUBAA, M., *et al.* **Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: an overview.** Food Res. Int. 85, 59–66, 2016.

KUMAR, S.P.J., *et al.* **Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds.** Chem. Cent. J. 11, 9, 2017.

Li, Y., *et al.* **Otimização de processo de produção de biodiesel a partir de óleo de soja utilizando o catalisador de zircônia dopada com tartarato de sódio e potássio em reator químico de micro-ondas,** 2013.

LIMA, C. G., *et al.* **Multiple emulsions containing amazon oil: babassu oil (*Orbignya oleífera*).** Journal of Dispersion Science and Technology, New York, v. 31, n. 5, p. 622-626, 2010.

LIMA, C. G.; *et al.* **Desenvolvimento e avaliação da estabilidade física de emulsões O/A contendo óleo de babaçu (*Orbignya oleífera*).** Revista Brasileira de Farmácia, Rio de Janeiro,v. 89, n. 3, p. 239-245, 2008.

LORENZI, H. **Flora brasileira Lorenzi: Arecaceae (palmeiras).** 1 ed. São Paulo: Nova Odessa, 367p, 2010.

LUTZ, I. A. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz: métodos físicos e químicos para análises de alimentos**. 4.ed. São Paulo: 2008.

MACHADO, G.C. **The use of babassu coconut oil, added whey protein concentrate, skimmed milk in the production of ice creams**, in: PhD Thesis, UFV, Viçosa, Brasil, 2005.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. **Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu**. Revista Ceres, Viçosa, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006.

MACHADO, J. F. *et al.* **Caracterização físico-química e atividade antibacteriana do óleo fixo da amêndoa de *Orbignia speciosa***. Reunião Regional da SBPC no Cariri, URCA - Cariri/CE.2017.

MAGALHÃES DE, G. M. O. **Avaliação do impacto do programa de biocombustíveis na disponibilidade hídrica do cerrado**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2008.

MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. **Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp**. Food Hydrocolloids, Amsterdam, v. 55, p. 47-55, 2016.

MARTINS, N. L. P., *et al.* **Análise comparativa da cicatrização da pele com o uso intraperitoneal de extrato aquoso de *Orbignya phalerata* (babaçu)**. Acta Cirúrgica Brasileira, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 66-75, 2006.

MATOS, J.B.L., *et al.* **Estudo comparativo da extração do óleo da borra de café**. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2019.

MAY, P. V.; NETO, F. C.; CHEVES POZO, O. V. **Valoração econômica da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 90 p, 2000.

MA, Y., *et al.* **Comparison of the compounds and characteristics of pepper seed oil by pressure-assisted, ultrasound-assisted and conventional solvent extraction**. Innovat. Food Sci. Emerg. Technol. Vol 54, 78-86, 2019.

MEDEIROS, M.C., *et al.* **Buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.) negatively impacts somatic growth and reflex maturation and increases retinol deposition in young rats**. Int. J. Dev. Neurosci. 46, 7–13, 2015.

MUSHTAQ, A., *et al.* **Advances in green processing of seed oils using ultrasound-assisted extraction: a review**. J. Food Process. Preserv. 44, e14740, 2020.

NAGEN, T.J., ALBUQUERQUE, T.T.O., MIRANDA, L.C.G. **Ácidos fenólicos em cultivares de soja: ação antioxidante**. Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba, v.35, n.1, p.129-138, 1992.

NAOZUKA, J. *et al.* **Elemental analysis of nuts and seeds by axially viewed ICP OES**. Food Chemistry, Amsterdam, v. 124, n. 4, p. 1667-1672, 2011.

NASCIMENTO, Caroline M.; **Estudo de modelos matemáticos aplicados à cinética de extração de óleos em condições supercríticas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

NEFFATI, N. *et al.* **Phytochemical composition and antioxidant activity of medicinal plants collected from the Tunisian flora**. Natural Product Research, Abingdon, v. 31, n. 13, p. 1583-1588, 2017.

NUNES, E. N.; *et al.* **Pitaia (*Hylocereus sp.*): Uma revisão para o Brasil**. Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2014.

NUNES, S, P. **Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil**. Departamento de Estudos Socioeconômico Rurais, Conjuntura Agrícola/Boletim Eletrônico no 159. DESER, 2007.

OLIVEIRA, A. L. *et al.* **Modelling of high-pressure phase equilibrium in systems of interest in the food engineering field using the Peng-Robinson equation of state with two different mixing rules**. Journal of Food Process Engineering, Hoboken, v. 33, n. s1, p. 101-116, 2010.

OLIVEIRA, G. L. S. **Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão**. Rev. bras. Plantas med. vol.17, nº 1, pp.36-44. ISSN 1516-0572, 2015.

OLIVEIRA, L.E., *et al.* **Kinetic and thermodynamic parameters of volatilization of biodiesel from babassu, palm oil and mineral diesel by thermogravimetric analysis (TG)**, J. Therm. Anal. Calorim. 111, 155–160, 2013.

OLIVEIRA, N. A. de. **Caracterização da farinha do mesocarpo e do óleo das amêndoas de Babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.) obtidos via extração com fluido supercrítico e líquido pressurizado: estudos pré-clínicos e toxicológicos**. 2018. 202 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

OLIVEIRA, N A; *et al.* **Composition and physical properties of babassu seed (*ORBIGNYA phalerata*) oil obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction**. Journal of supercritical fluids, v. 150, p. 21-29, 2019.

PRIOR RL, WU X, SCHAICH K. **Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements**. J Agric Food Chem.; 53:4290-302, 2005.

RAMALHO, Hugo F.; SUAREZ, Paulo A. Z. **A Química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino**. Revista Virtual de Química, ISSN 1984- 6835, vol.5, n.1, 2013.

REIPERT, E. C. D. A.; RODRIGUES, C. E. C.; MEIRELLES, A. J. A. **Phase equilibria study of systems composed of refined babassu oil, lauric acid, ethanol, and water at 303.2 K**. The Journal of Chemical Thermodynamics, London, v. 43, p. 1784-1790, 2011.

REIS, M. Y. F. A. *et al.* **Anti-inflammatory activity of babassu oil and development of a microemulsion system for topical delivery.** Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, New York, p. 3647801, 2017.

ROS DA, PCM, *et al.* **Síntese enzimática assistida por micro-ondas de biodiesel de sebo bovino.** J. d. Microbiol. Biotecnologia. 39, 529-536, 2012.

ROSA DA, A.C.S., *et al.* **Simultaneous extraction of the oil from the kernel and pulp of macauba fruit using a green solvent.** J. Food Process. Preserv. 44, 2020.

RUFINO. M. S. M. *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP).** EMBRAPA, Comunicado Técnico Online 127, 4p, Fortaleza, CE. 2007.

SANTOS. F. M. S. C. **Estudo da citotoxicidade, atividade antioxidante e atividade espontânea do extrato de óleo de babaçu (attalea speciosa mart.) em camundongos.** XIII Jornada de ensino, pesquisa e extensão – jepex 2013 – UFRPE: Recife, 2013.

SARAIVA, R.A. **Efeito anti-inflamatório do óleo fixo do mesocarpo interno de Caryocar coriaceum Wittm. sobre o edema induzido por agentes flogísticos em modelos animais.** 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Bioprospecção Molecular) – Universidade Regional do Cariri, Crato, 2008.

SAXENA, K.D, SHARMA, K.S., SAMBIC, S.S. **Kinetics and thermodynamics of cottonseed oil extraction.** Grasas e Aceites, vol.62(2), p.198-205, 2011.

SAWADA, Miriam M.; **Estudo da viabilidade técnica da substituição de hexano por etanol no processo de extração de óleo de soja:** Cinética da Extração e Índices de Qualidade. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2012.

SCARAVELLI, N. S., *et al.* **Métodos matemáticos na análise cinética não isotérmica.** Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, vol. 2, n. 1, 2014.

SCHNEIDER, C. C.; **Utilização de ultrassom em química orgânica.** Monografia do curso de Bacharelado e Licenciatura em Química, Universidade Federal de Pelotas, 2005.

SCHEIBE, C.L, *et al.* **Schinus terebinthifolius raddi (Aroeira) e Orbignya phalerata mart. (Babaçu) na cicatrização da cecorrafia em ratos.** Acta Cir. Sutiãs. 31, 402-410, 2016.

SILVA, D. L., *et al.* **Capacidade antioxidante de frutos do cerrado.** Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 6(Especial), p. 127-133, 2019.

SILVA DA, S.B., *et al.* **Ultrasoundassisted extraction of radish seed oil with methyl acetate for biodiesel production.** Can. J. Chem. Eng. 95, 2142–2147, 2017.

SILVA, L., *et al.*; **Extraction parameters of essential oil of coffee with the use of CO<sub>2</sub> supercritical.** Coffee Science, Lavras, vol. 10, n. 1, p. 65 – 75, 2015.

SILVA, N. F. I., *et al.* **Biocomposites based on poly(hydroxybutyrate) and the mesocarp of babassu coconut (*Orbignya phalerata* Mart.): Effect of wax removal and maleic anhydride-modified polyethylene addition.** Journal of Materials Research and Technology, 15, 3161–3170, 2021.

SMIDERLE, F. R. *et al.* **Evaluation of microwave-assisted and pressurized liquid extractions to obtain  $\beta$ -D-glucans from mushrooms.** Carbohydrate Polymers, Kidlington, v. 156, p. 165- 174, 2017.

SOUZA, C. M. L. D.; *et al.* **Composição do coco babaçu triturado integralmente.** Química no Brasil, v. 1, p. 21-24, 2007.

SOLER, M. P.; VITALI, A. A.; MUTO, E. F. **Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*).** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 27, n. 4, p. 717-722, 2007.

SALES, A. R. R., *et al.* **Caracterização físico-química do óleo de coco babaçu industrial e artesanal e suas aplicações tecnológicas.** Jornal Brasileiro de Desenvolvimento, 6(5), 25734–25748, 2020.

SOUZA, M. H.; *et al.* **Ethnopharmacological use of babassu (*Orbignya phalerata* Mart) in communities of babassu nut breakers in Maranhão, Brazil.** Journal of Ethnopharmacology, Lausanne, v. 133, n. 1, p. 1-5, 2011.

STAMENKOVIC, O.S., *et al.* **Kinetic, thermodynamic and optimization study of the corn germ oil extraction process.** Food Bioprod. Process. 120, 91e103, 2020.

SUTAR, M.S., GHOGARE, A.B. **Solvent extraction of oil and it's economy pravara rural engineering college,** Loni (Ahmednagar) Maharashtra, India, 4, pp. 23e27, 2017.

TAN, C.X., *et al.* **Optimization of ultrasound-assisted aqueous extraction to produce virgin avocado oil with low free fatty acids.** J. Food Process Eng. 1–9, 2018.

TEIXEIRA, M. A. **Babaçu – Uma nova abordagem para uma antiga biomassa brasileira,** Bioenergia de biomassa 32 857-864, 2008.

TEIXEIRA, M. A. **Heat and power demands in babassu palm oil extraction industry in Brazil.** Energy Conversion and Management, Nottingham, v. 46, n. 13-14, p. 2068- 2074, 2005.

TEO, C.L., IDRIS, A. **Enhancing the various solvent extraction method via microwave irradiation for extraction of lipids from marine microalgae in biodiesel production.** Bioresour. Technol. 171, 477e481, 2014.

TIWARI, B.K. **Ultrasound**: a clean, green extraction technology. *Trac Trend Anal. Chem.* 71, 100– 109, 2015.

TSUKUI, A.; OIGMAN, S.S.; REZENDE, C.M.; **Óleos de grãos de café cru: Diterpenos Cafestol e Caveol.** *Revista Virtual de Química*, ISSN 1984-6835, 6 (1), 16-33, 2014.

TUBEROSO CIG, *et al.* **Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use.** *Food Chem*; 103:1494-501, 2007.

VANDENBURG, H. J. *et al.* **Comparison of pressurised fluid extraction and microwave assisted extraction with atmospheric pressure methods for extraction of additives from polypropylene.** *Analyst, Cambridge*, v. 124, p. 397-400, 1999.

XIAO, W., HAN, L., ZHAO, Y. **Estudo comparativo da liquefação convencional e assistida por micro-ondas de palha de milho em etilenoglicol.** *Ind. Colheita. Prod.* 34, 1602-1606, 2011.

YAKOUB, A. R. B. *et al.* **Flavonoids, phenols, antioxidant, and antimicrobial activities in various extracts from Tossa jute leave (*Corchorus olitorus* L.).** *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 118, p. 206-213, 2018.

YIN, X. *et al.* **Biodiesel production from soybean oil deodorizer distillate using calcined duck eggshell as catalyst.** *Energy Conversion and Management*, v. 112, p. 199–207, 2016.

YUAN, Q., *et al.* **Effects of extraction methods on the physicochemical characteristics and biological activities of polysaccharides from okra (*Abelmoschus esculentus*).** *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 178- 186, 2019.

ZHANG, HL, DING, JC, ZHAO, ZD, **Esterificação assistida por micro-ondas de óleo acidificado de óleo de cozinha residual por membrana catalítica CERP/PES para produção de biodiesel.** *Biorecurso. Tecnol.* 123, 72-77, 2012.

ZHENG, W., & WANG, SY. **Atividade antioxidante e compostos fenólicos em ervas selecionadas.** *Jornal de Química Agrícola e Alimentar*, 49, 5165-5170, 2001.

ZHONG, J., *et al.* **The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from *Moringa oleifera* seeds.** *Ind. Crop. Prod.* 120, 1e10, 2018.