



## **PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICAÇÃO A PARTIR DE ÓLEO VEGETAL EXTRAÍDO DA POLPA DO ABACATE**

**Stéfani Francisco<sup>1</sup>**

**Carolina Resmini Melo Marques<sup>2</sup>**

**Débora De Pellegrin Campos<sup>3</sup>**

**Aline Resmini Melo<sup>4</sup>**

**Resumo:** Movidos por questões ambientais, os biocombustíveis ganharam espaço crescente no mercado nos últimos anos, devido as suas origens serem renováveis. As fontes naturais são as principais matérias-primas do biodiesel, principalmente os óleos vegetais. O abacate, fonte vegetal, é uma matéria-prima que apresenta altos teores de óleo em sua composição. O presente artigo aborda a utilização de dois métodos extrativos de óleo vegetal, encontrado na polpa do abacate, para fins comparativos, sendo uma extração química, onde foi utilizado o extrator de Soxhlet e o hexano como solvente, e uma mecânica, onde a polpa foi aquecida, deixada em decantação e retirado o óleo liberado. Para os óleos extraídos, testes físico-químicos foram realizados para obter os parâmetros dos mesmos, como massa específica, índice de acidez e índice de saponificação. Para obtenção do biodiesel foi utilizado a reação química de transesterificação, a partir do óleo de abacate extraído, do metanol como álcool, e o NaOH como catalisador. Para avaliar os parâmetros do biodiesel produzido, realizou-se ensaios como massa específica, índice de acidez, viscosidade cinemática, ponto de fulgor, estabilidade a oxidação, corrosividade e aspecto. Na extração do óleo de abacate o método mecânico se mostrou mais rentável, com rendimento em média de 23,3%, comparada a extração química que se mostrou desfavorável neste estudo devido ao seu baixo rendimento de 3,72%. O biodiesel produzido a partir do óleo extraído mecanicamente, por transesterificação, apresentou-se com uma alta qualidade, alcançando todos os parâmetros analisados e com rendimento de 76,30%.

**Palavras-chave:** Biocombustível. Extração. Soxhlet. Prensagem. Recursos Naturais.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Química, ano: 2022. E-mail: stefaniif@outlook.com

<sup>2</sup> Professora do Centro Universitário UniSATC E-mail: carolina.melo@satc.edu.br

<sup>3</sup> Professora do Centro Universitário UniSATC E-mail: debora.campos@satc.edu.br

<sup>4</sup> Professora do Centro Universitário UniSATC E-mail: aline.melo@satc.edu.br



## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética, e a busca por uma alternativa sustentável, fez com que a produção de biodiesel ganhasse destaque nos últimos anos.

Como abordado por Oliveira e Junger (2020), o petróleo, por ser o recurso mais importante para geração de energia, possui uma busca intensa e um elevado consumo de recursos naturais. Por consequência, é gerada uma degradação ao meio ambiente, não só pelo esgotamento natural, mas os impactos diretos causados, como a rápida liberação do carbono fóssil para a atmosfera, elevando a temperatura do planeta. Com isto, a produção de biocombustível, como o biodiesel, entra no cenário como uma alternativa para a redução dessa extração de petróleo e a emissão de poluentes.

O biodiesel é um termo que se refere a qualquer combustível de origem renovável e é utilizado em motores do ciclo-diesel (RAMOS et al., 2011). Seus precursores podem ser óleos vegetais, animais ou de algas, que na presença de um catalisador, reagem com um álcool de cadeia curta para produzir esse biocombustível (MOURA et al., 2019).

De acordo com Mofijur et al. (2020), o biodiesel vem sendo produzido de diferentes fontes em muitos países ao redor do mundo. As isenções fiscais e os incentivos de subsídios tornam cada vez mais acessível e comum a sua utilização.

No Brasil, por exemplo, em 1983, o Governo Brasileiro implantou um programa intitulado de Programa de Óleos Vegetais (Projeto OVEG), primeiramente incentivados por questões financeiras, devido ao aumento do preço do petróleo, que determinava o teste do uso de biodiesel puro em diversos níveis de mistura com o diesel mineral (RAMOS et al., 2011). Após isto, leis estabelecidas durante os anos impuseram a utilização do biodiesel na adição da produção do diesel.

O abacate, fruto do abacateiro, também pode ser uma fonte de óleo vegetal para a fabricação do biodiesel. O seu óleo é extraído da polpa através de métodos de extrações como extração por Soxhlet e extração mecânica, como prensagem a frio.

De acordo com os dados levantados pela Revista Globo Rural (2021), em 2021, a produção de abacate no Brasil, segundo a Associação Brasileira dos Exportadores de Frutas (Abrafrutas), beirava 196 mil toneladas, incluindo todas as

variedades. A área gira em torno de 10 mil hectares, e o tipo hass ou avocado é o mais cultivado para exportação. A alta produção no país e o alto teor de óleo encontrado na polpa do abacate, faz com que a fruta seja uma escolha como fonte de óleo para a fabricação de biodiesel.

O objetivo deste estudo foi reproduzir e avaliar métodos de extração do óleo de abacate, como fonte de matéria-prima, para a produção de biodiesel e caracterizar os materiais produzidos através de análises de controle de qualidade. Complementando o estudo foi comparado dois métodos de extração de óleo vegetal, um método químico e um mecânico e com isto, produzido biodiesel por uma reação química chamada transesterificação, obtendo assim, um combustível proveniente de um processo de produção de um recurso de energia limpa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O processo de separação de triglicerídeos de oleaginosas é chamado de extração. Isso é possível por meio de uma variedade de técnicas químicas, bioquímicas e mecânicas (NDE; FONCHA, 2020). Conforme Leal (2019), a produção de biodiesel é realizada em um processo constituído das seguintes etapas: preparação da matéria-prima, reação de transesterificação, separação de fases, recuperação e desumidificação do álcool e purificação do biodiesel.

### **2.1 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS**

Um dos métodos de extração mais convencionais é a extração por solvente, e, conforme Kumar et al. (2017), as oleaginosas são processadas, como uma trituração, e após são lavadas por solvente, como o hexano. Em seguida, o óleo será separado do hexano por evaporação e destilação. O hexano é amplamente escolhido, pela sua fácil recuperação ao final do processo, devido a sua alta solubilidade e seu ponto de ebulição estreito.

Para extração do óleo por solvente, utiliza-se o método de extração de Soxhlet, que segundo Cunha et al. (2020), é o principal método de referência para comparação com outros métodos. Neste processo, o solvente é reutilizado por meio de refluxo transferindo com maior facilidade o óleo da amostra para o solvente.

Outros métodos utilizados para a extração, são os mecânicos. Costagli e Betti (2015), explicam que, o método mecânico tem sido utilizado tradicionalmente em locais onde instalações de secagem e/ou unidades de extração de solventes não podem ser instaladas.

De acordo com Nde e Foncha (2020), por exemplo, em uma extração mecânica, as sementes podem ser colocadas em um volume disponível reduzido e submetidas a uma pressão que força o óleo para fora da semente. Porém, conforme explicado por Qin e Zhong (2016), essas tecnologias de prensagens são mais usadas para espremer óleo de oleaginosas, como soja, e não são tão aplicáveis quando em comparação com a polpa do abacate, que contém umidade mais alta e conteúdo celular diferente. O teor de água presente na polpa pode afetar o rendimento do óleo. Métodos de pré-tratamento de polpa de abacate, principalmente métodos de secagem podem ser aplicados antes da prensagem para aumentar o rendimento.

## 2.2 ABACATE

O abacate vem sendo estudado há tempos para a produção de biodiesel, devido ao seu alto potencial em teor de óleo. Adeniyi, Ighalo e Odetoye (2019), estudaram o abacate como matéria-prima do biodiesel pela grande quantidade de ácidos graxos contido no óleo.

De acordo com Woolf et al. (2009), o óleo de abacate de maior qualidade, corresponde àquele produzido a partir de frutos de alta qualidade, extraídos apenas com métodos mecânicos, utilizando uma temperatura inferior a 50 °C e sem o uso de solventes químicos.

A Tab. 1 apresenta as características físico-químicas do óleo do abacate.

**Tabela 1: Características físico-químicas do óleo de abacate.**

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite</b>
Massa específica (25°C)	g/cm <sup>3</sup>	0,903 à 0,923
Índice de saponificação	mg KOH/g	177,0 à 198,0
Índice de acidez	mg KOH/g	0,4 à 1,3

Fonte: Adaptado de Buosi, 2013 apud Tango e Turatti, 1992.

Apesar do destaque da utilização da polpa do abacate, há uma problemática da geração de resíduos proveniente desse processo. Como estudou Kowalski et al. (2017), ao utilizar o caroço do abacate para obtenção de etanol através de hidrólise enzimática, fez-se um aproveitamento da biomassa do caroço para geração desse biocombustível, e assim se obteve uma destinação desse resíduo como forma de melhoria da qualidade ambiental. Outras alternativas são estudadas utilizando o caroço e a casca do abacate como precursores. Adsorvente em remoção de corante, plástico biodegradável, farinhas, corantes, são uns dos exemplos que podem ser encontrados em pesquisas como subprodutos formados a partir do caroço e da casca.

### 2.3 BIODIESEL

Atualmente as resoluções do biodiesel são regulamentadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A Tab. 2 apresenta as especificações do biodiesel, segundo a ANP.

Tabela 2: Especificações do Biodiesel segundo a ANP.

Característica	Unidade	Limite
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas
Massa específica	kg/m <sup>3</sup>	850 a 900
Viscosidade cinemática a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 a 6,0
Ponto de fulgor mínimo	°C	100,0
Corrosividade máxima ao cobre em 3h a 50 °C	-	1,0
Índice de acidez máxima	mg KOH/g	0,50
Estabilidade mínima à oxidação a 110 °C	hora	12

---

Fonte: Adaptada da Resolução ANP nº 45 de 25/08/2014, 2014; Nº 798 de 01/08/2019.

A transesterificação de óleos vegetais é, atualmente, o método mais utilizado na obtenção do biodiesel, devido aos ésteres de ácidos graxos possuírem características físicas semelhantes aos do diesel (CARDOSO et al., 2020). Neste processo, segundo Rezania et al. (2019), os triglicerídeos (óleo vegetal) reagem com

um álcool (metanol ou etanol) para gerar ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol.

Sharma et al. (2018) explica que é necessária uma proporção molar de álcool para óleo de 3:1 para completar a reação de transesterificação, por ser uma reação reversível, porém, o excesso de álcool é bastante usado para evitar o deslocamento do equilíbrio para o lado do reagente e aumentar o rendimento.

Os catalisadores são um dos pontos críticos no processo de transesterificação quanto ao seu tipo e sua concentração (MOFIJUR et al., 2020). Verma e Sharma (2016), apontam que os catalisadores básicos normalmente usados são NaOH, KOH e CH<sub>3</sub>ONa e, seu uso excessivo formam emulsões refletindo em maior viscosidade, dificultando a recuperação do biodiesel.

## 2.4 ENSAIOS

### 2.4.1 Índice de acidez

Segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), a determinação da acidez fornece um dado importante na avaliação do estado de conservação do óleo e biodiesel. O índice de acidez é definido como o número de mg de hidróxido de potássio necessário para neutralizar um grama da amostra e é obtido através da Eq. (1).

$$I.A = \frac{V.f.5,61}{P} \quad (1)$$

Onde:

I.A = índice de acidez (mg KOH/g);

V = volume gasto de NaOH (L);

f = fator de correção de NaOH;

P = massa da amostra (g);

5,61 = fator de conversão mássico para KOH.

#### 2.4.2 Massa específica a 25 °C

A massa específica é uma propriedade importante nas análises de óleos vegetais e biodiesel, e é relacionada ao desempenho do motor. Segundo Verduzco (2013), em uma câmara de combustão, o excesso na entrada de volume de combustível, ligado diretamente com a massa específica, faz com que se torne incompleta a combustão, e por consequência emita maiores gases poluentes.

De acordo com Instituto Adolfo Lutz (2008), através de um picnômetro, é possível utilizar a relação massa por volume, para encontrar a massa específica.

#### 2.4.3 Índice de saponificação

De acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008), o índice de saponificação é a quantidade de álcali necessário para saponificar uma quantidade definida de amostra. Este método é expresso por número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para saponificar um grama de amostra e é obtido através da Eq. (2).

$$I.S = \frac{28,06 \cdot f \cdot (B - A)}{P} \quad (2)$$

Onde:

I.S = índice de saponificação (mg KOH/g amostra);

f = fator de correção de HCl;

B = volume gasto na titulação do branco (mL);

A = volume gasto na titulação da amostra (mL);

P = peso da amostra (g).

#### 2.4.4 Estabilidade a oxidação a 110 °C

De acordo com Lôbo, Ferreira e Cruz (2009), a estabilidade oxidativa do biodiesel está diretamente relacionada com o sistema de injeção de combustível no motor, devido a formação de produtos insolúveis, que por consequência aumentam

as chances de degradação da molécula. A estabilidade do biodiesel também pode ser afetada pela alta temperatura e a exposição ao ar no momento de sua estocagem.

#### 2.4.5 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é uma propriedade importante do biodiesel, que define a temperatura mais baixa em que pode ocorrer a inflamação do líquido devido à presença suficiente de gás ou vapor (MATTOS; BASTOS; TUBINO, 2015).

#### 2.4.6 Viscosidade cinemática

Para determinar a viscosidade de uma amostra, conforme Oliveira (2018), utiliza-se uma substância de referência, como a água. Em um viscosímetro capilar, são medidos os tempos de escoamento das substâncias com o mesmo volume conhecido, na mesma temperatura. Conhecendo a viscosidade da água, obtém-se a viscosidade absoluta através da Eq. 3. A partir disto, a viscosidade cinemática é obtida através da relação da viscosidade absoluta do líquido e da sua massa específica.

$$\eta = \frac{\rho \cdot t}{\rho_a \cdot t_a} \cdot \eta_a \quad (3)$$

Onde:

$\eta$  = viscosidade do líquido (mm.Pa/s);

$\rho$  = massa específica do líquido (g/mm<sup>3</sup>);

$t$  = tempo de escoamento do líquido (s);

$\rho_a$  = massa específica da água (g/mm<sup>3</sup>);

$t_a$  = tempo de escoamento da água (s);

$\eta_a$  = viscosidade da água (mm.Pa/s).

#### 2.4.7 Corrosividade em cobre

Segundo Kamalesh e Bhale (2018), o biodiesel pode entrar em contato com diversos metais, como o cobre, e se tornar corrosivo devido a uma degradação que

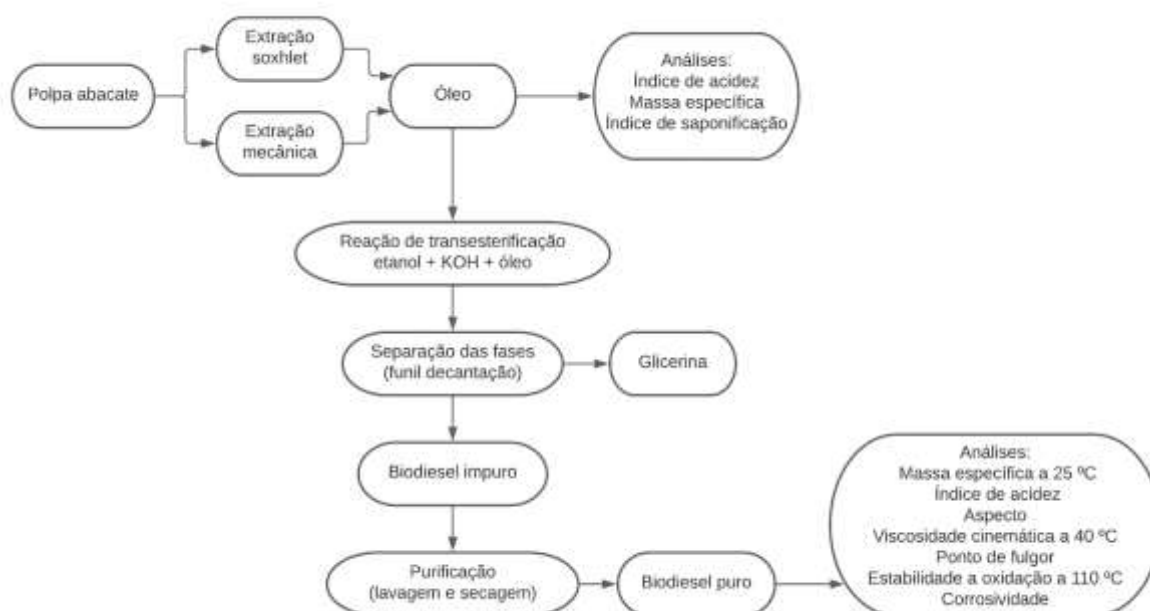


ocorre não só por oxidação, mas por absorção de umidade devido a exposição ao ar, ataque de micro-organismos entre outros fatores. Isto causa danos e desgastes em contato com superfícies metálicas, como o tanque de armazenamento.

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As etapas de produção do biodiesel seguiram o fluxograma que está apresentado na Fig. 1.

Figura 1: Fluxograma do processo de produção do biodiesel.



Fonte: Do autor (2022)

#### 3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE MATÉRIA-PRIMA

As amostras de abacate foram adquiridas nos mercados locais da cidade de Morro da Fumaça-SC, na variedade Breda e em ponto de maturação, pois de acordo com Qin e Zhong (2016) é neste estado que a fruta apresenta maior teor de óleo.

Primeiramente, realizou-se o descaroçamento do abacate e em seguida a retirada de sua polpa da casca. As polpas foram amassadas e batidas no mixer para a sua homogeneização.

### 3.2 EXTRAÇÃO PELO MÉTODO DE SOXHLET

O procedimento realizado estava de acordo com os métodos do Instituto Adolfo Lutz (2008) e Silva et al. (2014), utilizando um extrator de Soxhlet. Cerca de 1000 g de amostra, dividida em dez porções, foram secas em estufa a 105 °C durante 2 h e após, levadas para o dessecador para atingir a temperatura ambiente. O balão foi preenchido com hexano na quantidade de 4 vezes o volume da câmara central de Soxhlet, e o dedal de papel foi preenchido com uma média de 100 g de amostra.

A partir do aquecimento do solvente no sistema, a entrada do seu estado de ebulição, e sua condensação, a extração se inicia como mostra o item “a” da Fig. 2. A extração foi mantida enquanto se observou a coloração amarelada no dedal de papel. Após o fim da extração, depois do seu resfriamento, filtrou-se a mistura, e levou-se a um rotaevaporador, para atingir a evaporação do hexano, que foi recuperado no balão de fundo de recolhimento, conforme demonstra o item “b” da Fig. 2. Quando não se observou mais a condensação do solvente, finalizou-se o processo e o óleo de abacate foi obtido.

Figura 2: Extração por Soxhlet (a) e recuperação do solvente (b).



Fonte: Do autor (2022)

### 3.3 EXTRAÇÃO POR MÉTODO MECÂNICO

Seguindo os estudos de Yang et al. (2019) e Tan (2019), a prensagem a frio pode ser reproduzida e adaptada para laboratório. A metodologia utilizada é uma adaptação de métodos mecânicos, onde utilizou-se uma fonte de calor e a decantação para separação de fases do óleo da polpa. De acordo com Wong et al. (2014), um dos métodos de extração contínua baseia-se apenas em meios mecânicos como moagem, malaxação (mistura lenta) e centrifugação. A malaxação, por exemplo, utiliza do controle da temperatura, entre 45 °C e 50 °C, em um tempo que varia de 60 a 120 min.

Adicionou-se cerca de 1200 g de polpa (batida e homogeneizada) em vários béqueres, e submeteu-se ao banho maria em torno de 50 °C, por um tempo de 2 h, mexendo lentamente. Posteriormente ao banho maria, separou-se a polpa em béqueres menores, com porções em cerca de 100 g. Após, deixou-se em repouso por 24 h. Observou-se a separação da fase do óleo em relação a polpa como mostra a Fig. 4. Quando o repouso acabou, coletou-se o óleo e filtrou-se em papel filtro para garantir a ausência de partículas sólidas.

Figura 3: Separação de fases entre óleo e polpa na extração mecânica.



Fonte: Do autor (2022)

### 3.4 ENSAIOS COM O ÓLEO BRUTO DO ABACATE

Foram realizados os seguintes ensaios para cada óleo extraído: índice de acidez, massa específica a 25 °C e índice de saponificação.



O índice de acidez foi realizado segundo o método do Instituto Adolfo Lutz (2008). Primeiramente preparou-se uma mistura de éter etílico e etanol 95% na proporção de (2:1) e uma solução de NaOH 0,1 M. Em seguida, pesou-se 2 g de óleo em Erlenmeyer e adicionou-se 25 mL da mistura de éter. Com a homogeneização completa, 2 gotas de fenolftaleína foram acrescentadas. Titulou-se com solução NaOH 0,1 M e realizou-se o cálculo para encontrar o índice de acidez.

A massa específica foi aferida utilizando um picnômetro em temperatura de 25 °C.

O índice de saponificação foi realizado segundo o método do Instituto Adolfo Lutz (2008). Primeiramente, preparou-se 300 mL de uma solução alcóolica de KOH a 4% m/v e 500 mL de uma solução de HCl 0,5 M, que em seguida foi padronizada. Adicionou-se cerca de 2,5 g de amostra com 25 mL da solução de KOH, conectou-se o condensador e ferveu-se suavemente na manta aquecedora, até a completa saponificação, que foi quando a amostra atingiu um aspecto transparente. O tempo foi cronometrado. Após o resfriamento do frasco, desconectou-se o condensador, adicionou-se 2 gotas do indicador fenolftaleína e titulou-se com a solução de ácido clorídrico 0,5 M até o desaparecimento da cor rósea. Repetiu-se todo o procedimento com o branco, onde foi adicionado 25 mL da solução de KOH, no mesmo tempo cronometrado anteriormente.

### 3.5 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

A síntese de biodiesel seguiu uma combinação dos métodos utilizados por Cunha et al. (2018) e Garda, Zoch e Anselmini (2013).

Dissolveu-se 0,25 g de hidróxido de sódio (NaOH) em 25 mL de metanol, em agitação constante. Acrescentou-se 50 mL de óleo de abacate no balão e fez-se agitação com aquecimento por 5 minutos na manta aquecedora com agitador magnético. Após, adicionou-se a mistura de metanol com NaOH. Finalizado a adição, deixou-se a mistura em agitação a 50 °C na manta aquecedora, por 30 min, junto de um condensador, para que ocorresse a reação de transesterificação, conforme mostra em “a” na Fig. 4.

Transferiu-se a mistura para um funil de separação e esperou-se por aproximadamente 2 h para ocorrer a separação de fases, onde na fase superior se encontrou o biodiesel impuro e na fase inferior a glicerina, como se observa em “b” na Fig. 4.

Ocorreu por fim a etapa de purificação, que consistiu na lavagem do biodiesel em três etapas. As lavagens foram feitas com a adição de 25 mL da solução aquosa de ácido clorídrico 0,5% (v/v), solução saturada de NaCl e água destilada, respectivamente. Foram agitadas por 5 min, deixadas em repouso para separação de fases e retirada a fase no próprio funil de separação. Após a finalização das etapas de lavagens, adicionou-se duas espátulas de sulfato de sódio para eliminar os vestígios de água que ainda poderiam ter restado. O biodiesel produzido foi armazenado em garrafa de vidro âmbar fechada para evitar exposição ao ar e luz.

Figura 4: Produção de biodiesel (a) e separação de fases biodiesel e glicerina (b).



Fonte: Do autor (2022)

### 3.6 ENSAIOS COM O BIODIESEL PRODUZIDO

Realizou-se no Laboratório de Química II, do curso de Engenharia Química da UNISATC, os seguintes ensaios no biodiesel produzido: aspecto, índice de acidez, massa específica a 25 °C e viscosidade cinemática. Os ensaios de ponto de fulgor (método ASTM D 93), estabilidade a oxidação a 110 °C (método ASTM D 130) e



corrosividade (método ASTM E 2412), foram realizados pelo laboratório Pool-Lab, localizado em Itajaí-SC.

O aspecto foi determinado visualmente, para verificar se havia presença de impurezas sólidas em suspensão, se o biodiesel estava límpido ou turvo, devido à presença de água e a cor do produto.

A massa específica foi aferida utilizando um picnômetro em temperatura de 25 °C.

O índice de acidez foi realizado repetindo o mesmo método procedimental utilizado no teste dos óleos, conforme Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando o biodiesel como amostra.

A viscosidade cinemática a 40 °C foi obtida através de um viscosímetro capilar Cannon-Fenske, em banho termostático a 40 °C. Adicionou-se 15 mL de biodiesel no tubo viscosimétrico e fez-se a sucção da amostra até atingir o menisco. Imergiu-se o tubo com a amostra no banho. Após 15 minutos, com a temperatura estabilizada, o líquido foi colocado para fluir. Quando o biodiesel atingiu a linha inicial de referência, iniciou-se a contagem do tempo no cronômetro até que se atingiu o outro ponto de referência. O mesmo procedimento foi feito para a água, como referência.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 EXTRAÇÕES DO ÓLEO**

Nesta etapa se obteve um baixo rendimento no processo de extração por solvente, 2,09% em média, considerando nove extrações, como pode se observar o rendimento baixo de uma batelada de extração na Fig. 5.

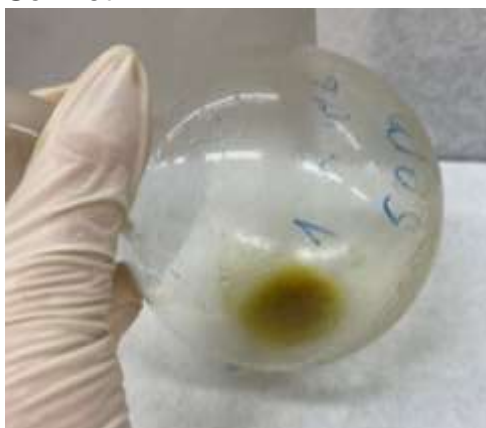
Os estudos de Campos (2009), apontaram um rendimento em média de 3,72%, com a utilização do hexano como solvente. Com esse baixo rendimento, precisaria ser empregado um volume muito grande de polpa de abacate para se obter um volume satisfatório de óleo.

Esta questão pode ser explicada devido ao elevado teor de umidade da polpa do abacate, mesmo com a secagem prévia da amostra em estufa a 105 °C por



2 h. Este fator não é favorável ao processo, uma vez que a água gera um obstáculo para o solvente extrator entrar em contato com o óleo para ocorrer a extração, principalmente em relação a polaridade dos componentes em questão, uma vez que a água é um composto polar e o hexano um composto apolar. Além do baixo rendimento, o tempo empregado para completar a extração também foi um impedimento para o sucesso da metodologia, levando uma média de 3 a 4 horas, mais o tempo de recuperação do hexano no rotaevaporador, que leva cerca de 1 hora.

Figura 5: Rendimento Extração de Soxhlet.



Fonte: Do autor (2022)

Tecnologias de secagem podem ser realizadas nesta etapa para otimizar a extração, tendo em vista que o tempo gasto, o custo do processo e o seu rendimento não se mostraram favorável nesta metodologia, mais tradicional, aplicada.

Na literatura existem diversos estudos que apontam a influência dos processos de secagem na extração do óleo da polpa de abacate. Como é o caso dos estudos de Santos et al. (2013), que apontam que existe cerca de 71,30% de presença de água na polpa do abacate. Os autores testaram técnicas de secagem da polpa que preservassem os compostos nutricionais do óleo e aumentassem o rendimento das extrações. Aquecimento da polpa por micro-ondas, congelamento seguido por liofilização, desidratação em estufa com circulação de ar, secagem convectiva, são algumas das técnicas de secagens aplicadas no pré-tratamento da polpa para extração.

As amostras de polpas submetidas ao método de extração mecânica, apresentaram o rendimento de extração em média de 23,30%, um pouco abaixo dos



valores encontrados na literatura, podendo ser influenciada pela presença de água nas polpas. Santos et al. (2014) obteve um rendimento da prensagem a frio em cerca de 25% a 33%.

Os resultados obtidos nas análises de qualidade aplicadas nos óleos extraídos, foram realizados em triplicata e a média de seus resultados estão apresentados na Tab. 3.

O índice de saponificação em ambos os métodos se encontrou dentro da faixa limite apresentada na Tab. 1. A massa específica do método de extração mecânica se encontrou dentro dos parâmetros, o que não se observou no óleo extraído por Soxhlet, que apresentou um valor abaixo, podendo ser resultado da presença de traços de hexano, já que o óleo extraído deste processo, mesmo após a rotaevaporação, apresentou traços de odor do solvente em questão.

Tabela 3: Características físico-químicas dos óleos extraídos do abacate.

Característica	Resultado	
	Soxhlet	Mecânico
Massa específica a 25 °C (g/cm <sup>3</sup> )	0,795	0,906
Índice de saponificação (mg KOH/g)	195,43	192,70
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,073	0,030

Fonte: Do autor (2022)

Já os resultados de índice de acidez nos dois métodos estão abaixo dos valores dos parâmetros apontados na Tab. 1. A baixa no índice de acidez pode ter sido influenciada pela presença de alguns coágulos que se formaram no meio da titulação com a movimentação circular imposta no erlenmeyer utilizada nas duas situações, mesmo fundindo a amostra algumas vezes antes de realizar o teste na tentativa de evitar a coagulação, o padrão se repetia.

## 4.2 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Devido ao baixo rendimento obtido na extração química, utilizou-se o óleo de abacate extraído do método mecânico, e o rendimento de biodiesel obtido nas



reações de transesterificação foi de 76,30%, considerando que este resultado é a média de quatro bateladas de processo. Comparando o rendimento aos dados encontrados na literatura com os estudos de Cunha et al. (2018) e, Paul e Adewale (2018), que apontam rendimentos nas faixas de 56,33% a 79,2%, a quantidade obtida de biodiesel neste estudo está dentro do esperado.

Para os testes de controle de qualidade empregados em laboratório e no PoolLab, foi obtido os seguintes valores apresentados na Tab. 4.

Tabela 4: Resultados obtidos nos ensaios com o biodiesel produzido.

Característica	Resultado	Limite
Aspecto	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	888	850 a 900
Viscosidade cinemática a 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	4,14	3,0 a 6,0
Ponto de fulgor mínimo (°C)	150	100
Corrosividade máxima ao cobre em 3h a 50 °C	1,0	1,0
Índice de acidez máxima (mg KOH/g)	0,002	0,50
Estabilidade mínima à oxidação a 110 °C (h)	18	12

Fonte: Do autor (2022)

Todos os resultados se mostraram satisfatórios ao serem comparados aos parâmetros da ANP, conforme apresentados na Tab. 2, indicando a eficiência da produção do biodiesel através da reação de transesterificação. Quanto ao aspecto, como observa-se na Fig. 6, o biodiesel produzido possui uma visualização límpida e isenta de impurezas.

Figura 6: Biodiesel obtido.



Fonte: Do autor (2022)

O ponto de fulgor, segundo os estudos de Queiroz (2016), está ligado diretamente ao teor de álcool presente no biodiesel, relacionado com a recuperação do álcool nas etapas de purificação. Para Dhar e Kirtania (2009) quanto maior o ponto de fulgor, menor é a presença de álcool na amostra, já que o excesso de metanol torna o combustível inflamável e perigoso, além de ser um problema para a saúde humana e ambiental. A ANP estabelece que quando a análise do ponto de fulgor resultar em valor superior a 130 °C, fica dispensada a análise de teor de metanol e etanol. Sendo assim, o valor obtido de 150 °C indica a baixa inflamabilidade do produto produzido, pela eficiência da recuperação do álcool no procedimento empregado.

A estabilidade a oxidação a 110 °C ultrapassou o limite de 12 horas, apresentando o resultado de 18 horas de estabilidade. Conforme Lôbo, Ferreira e Cruz (2009) isto indica a alta resistência das moléculas a degradação térmica e oxidativa, relacionada com uma menor presença de ácidos graxo insaturados do óleo utilizado para a produção, pois quanto maior o número de insaturações do óleo, maior vai ser a tendência de ocorrer uma oxidação.

A corrosividade também se apresentou dentro dos parâmetros especificados pela ANP, o que indica que o material tem uma baixa taxa de corrosão e não implicará nos desgastes de superfícies metálicas.



## 5 CONCLUSÃO

A transesterificação é uma reação química extremamente versátil e eficiente na produção de biodiesel. O óleo de abacate, estimulado pelo catalisador reagiu quimicamente com o álcool e apresentou uma conversão de 78,30% de óleo para biodiesel, e a rota metílica é um dos grandes fatores contribuintes. Os parâmetros do biodiesel produzido estavam de acordo com as normas ANP, comprovando a eficiência do processo.

O óleo extraído do abacate, fonte vegetal, se apresentou como uma boa opção levando em conta apenas o seu rendimento para a produção de biodiesel, e para sua extração, o método mecânico se mostrou superior em rendimento a extração por solvente, ao comparar o resultado de 23,30% contra 2,09%. Ao pensar em sustentabilidade, os métodos de extrações mecânicas além de apresentarem melhores rendimentos, apresentam também a vantagem de não dependerem de solventes, uma vez que estes podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

As fontes vegetais como matéria-prima para o biodiesel são diversas, e a obrigatoriedade da adição deste biocombustível na matriz energética do diesel vem contribuindo com as agriculturas familiares, além de ser uma via sustentável e proveniente de meios renováveis.

## REFERÊNCIAS

ADENIYI, Adewale George; IGHALO, Joshua O.; ODETOYE, Temitope Elizabeth. Response surface modelling and optimisation of biodiesel production from Avocado plant oil. **Indian Chemical Engineer**, [S. l.], p. 243-250, 25 ago. 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00194506.2019.1658546>>. Acesso em: 26 mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 45/2014**.. [S. l.], 25 ago. 2014. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-45-2014?origin=instituicao&q=45/2014>>. Acesso em: 26 mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 798/2019**.. [S. l.], 1 ago. 2019. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-798-2019>>. Acesso em: 26 mar. 2022.



Biodiesel BR. **Biodiesel atinge seu menor preço desde o final de fevereiro.** [S. l.], 8 jul. 2022. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/info/biodiesel-atinge-seu-menor-preco-desde-o-final-de-fevereiro-080722>>. Acesso em: 15 out. 2022.

BUOSI, Gabriela Menegon. **Extração Do Óleo De Abacate (Persea americana Mill.) Visando À Produção De Biodiesel E Sua Caracterização.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Tecnologia em Biocombustíveis) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2013. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/35141/tccGabrielaMB.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CAMPOS, Rodrigo Andreolli de. **Otimização de método de extração de óleo presente em polpa de abacate.** 2009. 70 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, [S. l.], 2009. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97849/campos\\_ra\\_me\\_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97849/campos_ra_me_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 1 set. 2022

CARDOSO, Thayssa Sales; SANTOS, Ronald Almeida dos; COSTA, Rilder Tebias Toledo da; AVIZ, Emanuel Oliveira de; ARAÚJO, Josiney Farias de; SILVA, Arlesson Pereira da; FREITAS, Manolo Cleiton Costa de; CORREIA, Leandro Marques. Uma revisão da utilização de catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel. **Brazilian Applied Science Review**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 240-276, 13 fev. 2020. DOI 10.34115/basrv4n1-016. Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/index.php/BASR/article/view/6859/7042>>. Acesso em: 1 abr. 2022.

COSTAGLI, Giacomo; BETTI, Matteo. Avocado oil extraction processes: method for cold-pressed high-quality edible oil production versus traditional production. **Journal of Agricultural Engineering**, [S. l.], v. 46, n. 3, p. 115-122, 16 out. 2015. Disponível em: <<https://agroengineering.org/index.php/jae/article/view/467/492>>. Acesso em: 22 mar. 2022.

CUNHA, L. M. S.; PIRES, R. F.; SANTOS, K. G. dos; DANTAS, S. C. Comparison of yield by different methods of oil extraction from pequi pulp. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e342973876, 16 maio 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3876>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

CUNHA, Silvio; RODRIGUES, Marina Costa; MATTOS, Rosiene Reis; TEIXEIRA, Leonardo Sena Gomes; SANTOS, Airam Oliveira; SANTOS, Elaine; SOUZA, Rauan; ANDRADE, Givaldo dos Santos; PAULA, Rodrigo de; JESUS, Djane de. Experimento com abacate, borra de café, licuri e leite de coco para extração de óleo, produção de biodiesel e análise espectral. **Química Nova**, [S. l.], p. 691-698, 8 mar. 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/bHTJb37kn8bcTqWqF7z3tqD/?lang=pt#>>. Acesso em: 5 jul. 2022.



DHAR, Bipro Ranjan; KIRTANIA, Kawnish. Excess Methanol Recovery in Biodiesel Production Process Using a Distillation Column: a simulation study. **Chemical Engineering Research Bulletin**, [S. l.], p. 55-60, 12 dez. 2009. Disponível em: <<https://www.banglajol.info/index.php/CERB/article/view/3538>>. Acesso em: 6 out. 2022.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla. Biodiesel De Soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, [S. l.], p. 19-23, 23 nov. 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/dFhw6srNTgmvLRQbZc7jgFt/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

FERREIRA, Rondinele Alberto dos Reis; SILVA, Rosalina Helena. Produção de Biodiesel Usando Blend de Óleo de Abacate e de Soja. **Revista Higiene Alimentar**, [S. l.], p. 98-102, 1 mar. 2018. Disponível em: <<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/08/910587/280-281-maio-jun-2018-98-102.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

GARDA, D.; ZOCH, A.N.; ANSELMINI, K. 6º Encontro Nacional de Tecnologia Química, 2013, Maceió-AL. **Produção de biodiesel a partir do óleo de abacate [...]**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/entequi/2013/trabalhos/51/51-2522-15831.html>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. [S. l.: s. n.], 2008. 1020 p. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

KAMALESH, Sorate; BHALE, Purnanand. Corrosion Behavior of Automotive Materials with Biodiesel: A Different Approach. **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, [S. l.], p. 147-162, 1 maio 2018. DOI 10.4271/04-11-02-0007. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/26554703?read-now=1&seq=1>>. Acesso em: 9 maio 2022.

KOWALSKI, Rafaela Luisa; SCHNEIDER, Vanessa Suzane; MORETTO, Juliana; GOMES, Luis Fernando Souza. Produção de etanol de segunda geração a partir de caroço de abacate. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S. l.], p. 665-667, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/49073/pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

KUMAR, S.P.J.; PRASAD, S.R.; BANERJEE, R.; AGARWAL, D.K.; KULKARNI, K.S.; RAMESH, K.V. Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. **Chemistry Central Journal** 11, 9.23 jan. 2017. DOI 10.1186/s13065-017-0238-8. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1186/s13065-017-0238-8#citeas>>. Acesso em: 22 mar. 2022.



LEAL, Maxsuel da Costa. **Eficiência do extrato bruto de *Aspergillus* sp na conversão de óleo de babaçu em biodiesel**. 2019. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos) - Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2019. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/12368>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Revista Química Nova**, [S. l.], p. 1596-1608, 14 jul. 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/SbsL599jyMJbxxKpzbMdmZM/?lang=pt>>. Acesso em: 1 maio 2022.

MATTOS, Rodrigo A.; BASTOS, Flávio A.; TUBINO, Matthieu. Correlation Between the Composition and Flash Point of Diesel-Biodiesel Blends. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [S. l.], p. 393-395, Fev. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jbchs/a/64jHkZ95gqs8sZpnPpDTS9H>>. Acesso em: 8 maio 2022.

MOFIJUR, M.; SIDDIKI, S. Y. A.; SHUVO, M. B. A.; DJAVANROODI, F.; FATTAH, I.M.R.; ONG, H. C.; CHOWDHURY, M.A.; MAHLIA, T.M.I. Effect of nanocatalysts on the transesterification reaction of first, second and third generation biodiesel sources- A mini-review. **Chemosphere**, [S. l.], p. 1-14, 22 out. 2020. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.128642. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565352032837X>> Acesso em: 9 abr. 2022.

MOURA, C. V. R.; SILVA, B. C.; CASTRO, G.; MOURA, E. M.; VELOSO, M. E. C.; SITTOLIN, I. M. e ARAÚJO, E. C. E. Caracterização Físico-Química de Óleos Vegetais de Oleaginosas Adaptáveis ao Nordeste Brasileiro com Potenciais para Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 573-595, 12 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1110781/1/CaracterizacaoOleosVegetaisRevVirtQuimica2019.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

NDE, Divine Bup; FONCHA, Anuanwen Claris. Optimization Methods for the Extraction of Vegetable Oils: A Review. **Processes**. 8, n. 2: 209 8 fev. 2020. DOI: 10.3390/pr8020209. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-9717/8/2/209>>. Acesso em: 22 mar. 2022.

OLIVEIRA, Anselmo E. de. **Viscosimetria**. 2018. Instituto de Química UFG. Disponível em: <[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/56/o/FQExp\\_viscosidade.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/56/o/FQExp_viscosidade.pdf)>. Acesso em: 3 maio 2022.

OLIVEIRA, Rafael Cajano de.; JUNGER, Alex Paubel. Utilização de combustíveis fósseis no Brasil e suas consequências ambientais. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 9, p. e466997537, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7537>>. Acesso em: 18 mar. 2022.







2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-013-2289-x>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

SHARMA, Anvita; KODGIRE, Pravin; KACHHWAHA, S. S.; RAGHAVENDRA, H.B.; THAKKAR, Kartik. Application of Microwave Energy for Biodiesel Production using Waste Cooking Oil. **Materials Today Proceedings**, [S. l.], p. 23064-23075, 2018. DOI 10.1016/j.matpr.2018.11.036. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318327731>>. Acesso em: 8 abr. 2022.

SILVA, J. D. F.; GOUVEIA, H. L.; SCHEIK, L. K.; CUNHA, C. C.; BORGES, C. D.; MENDONÇA, C. R. B. Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis-SC. **Efeito do processo de secagem da polpa do abacate (Persea americana Mill) sobre a qualidade do óleo bruto extraído [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0081-27152-180437.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2022.

TAN, Chin Xuan. Virgin avocado oil: An emerging source of functional fruit oil. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], p. 381-392, Mar. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/sdfe/reader/pii/S1756464618306583/pdf>>. Acesso em: 5 maio 2022.

VERDUZCO, Luis Felipe Ramirez. Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature: Empirical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], p. 652-665, Mar. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112006338>>. Acesso em: 5 maio 2022.

VERMA, P.; SHARMA, M.P. Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 62, p. 1063-1071, Set. 2016. DOI 10.1016/j.rser.2016.04.054. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116300879#!>>. Acesso em: 9 abr. 2022.

WONG, Marie; EYRES, Laurence; RAVETTI, Leandro. Modern Aqueous Oil Extraction - Centrifugation Systems for Olive and Avocado Oils. In: FARR, Walter E.; PROCTOR, Andrew. **Green Vegetable Oil Processing**. [S. l.: s. n.], 2014. p. 19-51. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=Fc1cCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=Zs79ehnf8g&sig=SQu-3wkNNKEi1z4GV-BPRI72XEI&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=Fc1cCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=Zs79ehnf8g&sig=SQu-3wkNNKEi1z4GV-BPRI72XEI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 16 ago. 2022.

WOOLF, Allan; WONG, Marie; EYRES, Laurence; MCGHIE, Tony; LUND, Cynthia; OLSSON, Shane; WANG, Yan; BULLEY, Cherie; WANG, Mindy; RAQUEJO-JACKMAN, Cecilia. Avocado Oil. **Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils**. [S. l.: s. n.], 2009. p. 73-125. ISBN 978-1-893997-97-4. Disponível em:





<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781893997974500085>>.  
Acesso em: 26 mar. 2022.

YANG, Shuo; HALLET, Ian; OH, Hyunah E.; WOOLF, Allan B.; WONG, Marie. The impact of fruit softening on avocado cell microstructure changes monitored by electrical impedance and conductivity for cold-pressed oil extraction. **Food Process Engineering**, [S. l.], p. 1-8, 11 abr. 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfpe.13068>>. Acesso em: 5 maio 2022.

### AGRADECIMENTO

Agradeço primeiro a Deus e Nossa Mãe Maria por me conceder graças e saúde para concluir este curso mediante a todos os obstáculos vividos. Agradeço também a toda a minha família, aos meus amigos que foram fundamentais no apoio deste ciclo. A UNISATC, aos meus colegas de curso, aos meus professores e a minha orientadora pelo meu processo de formação profissional.

E em especial, agradeço as duas principais pessoas responsáveis por eu estar aqui. Ao Vitor, meu companheiro e parceiro de todos os dias, você foi meu pilar e abrigo por todos os momentos, você é luz e alegria na minha vida. E a minha mãe, que é a minha melhor amiga e a base da minha vida, eu te devo o mundo e dedico esta vitória a senhora. Sem vocês eu jamais teria conseguido. Obrigada por tanto!