

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**

**CAMPUS AVARÉ**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE BIODIESEL**

**CASSIANO BACHIEGA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE  
LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*)**

**AVARÉ**

**2023**

**CASSIANO BACHIEGA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE  
LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus Avaré*, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Biosistemas.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Pio Marchesi Krall Ciniciato

AVARÉ

2023

Catálogo na fonte  
Instituto Federal de São Paulo – Campus Avaré

Bachiega, Cassiano

Produção e caracterização de biodiesel a partir do óleo de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) / Cassiano Bachiega

Avaré, 2023.

69 p.

Orientador: Dr. Gustavo Pio Marchesi Krall Ciniciato

Monografia (Graduação – Engenharia de Biosistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Avaré, Avaré, 2023.

1. *Hermetia illucens*. 2. Extração de lipídios. 3. Biodiesel. 4. Caracterização.  
I. Ciniciato, Gustavo Pio Marchesi Krall.  
II. Título.

ATA N.º 21/2023 - CBEB-AVR/DAE-AVR/DRG-AVR/IFSP

### Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

Na data de 29/11/2023 realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Produção e caracterização de biodiesel a partir de óleos de larvas de insetos” apresentado pelo aluno Cassiano Bachiega AV300385X do Curso SUPERIOR EM ENGENHARIA DE BIODIESEL, (Campus Avaré). Os trabalhos foram iniciados às 10:00 horas da manhã pelo Professor Rafael Aparecido Ferreira, presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)	Aprovação/Conceito
Rafael Aparecido Ferreira (Presidente)	IFSP- Câmpus Avaré	Sim	10
Marcela Pavan Bagagli (Examinador 1)	IFSP - Câmpus Avaré	Sim	9,8
Luciana Manoel de Oliveira (Examinador 2)	IFSP- Câmpus Avaré	Sim	9,9

#### Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado(a)

Reprovado(a)

Nota Final: 9,9

O segundo examinador é avaliador externo:

Sim     Não

Observações: O orientador do referido trabalho, o Prof. Dr. Gustavo Pio Marchesi Krall Ciniciato, não pode estar presente na apresentação, pois foi estava em trabalho externo para acompanhar outros alunos da instituição em um exame chamado "Provão Paulista", a pedido da coordenação de curso Técnico Integrado de Agroindústria e do DAE do Campus, sendo assim eu presidi os trabalhos. Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino

juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Campus Avaré,

5 de dezembro de 2023

Documento assinado eletronicamente por:

- **Gustavo Pio Marchesi Krall Ciniciato**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/12/2023 09:41:24.
- **Luciana Manoel de Oliveira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/12/2023 19:11:02.
- **Rafael Aparecido Ferreira**, COORDENADOR(A) - FUC1 - CBEB-AVR, em 05/12/2023 17:12:34.
- **Marcela Pavan Bagagli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/12/2023 18:53:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/11/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 656078

Código de Autenticação: 8fa012f225



ATA N.º 21/2023 - CBEB-AVR/DAE-AVR/DRG-AVR/IFSP

Dedico em especial a minha mãe  
por todo seu esforço quanto à minha formação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Daniele e Fabricio, e ao meu segundo pai, Eduardo, por sempre me apoiarem e ampararem. Sem o amor, apoio e compreensão de vocês, esta jornada não teria sido a mesma, assim como todas as outras.

Agradeço aos meus queridos irmãos, Afonso, Maria Theresa e Thales, por toda a companhia, alegria e amor que vocês me proporcionam. Busco ser uma pessoa melhor a cada dia por vocês.

Agradeço a minha namorada, Ana Paula, por todo o seu amor, carinho e compreensão, me proporcionando a calma necessária para seguir em frente. Obrigado por estar comigo em todos os momentos, me apoiando em todas as minhas decisões, me incentivando a dar o meu melhor sempre. Você é o meu porto seguro.

Meus agradecimentos ao professor Gustavo por aceitar ser meu orientador e, desde o ensino médio, acreditar em mim e estar sempre presente, e à professora Marcela, pelo seu voto de confiança e compartilhamento de seus conhecimentos. Meus agradecimentos também aos demais professores e técnicos de laboratórios.

Agradeço especialmente ao meu amigo João e aos demais amigos, pela companhia ao longo desses 5 anos.

Agradeço ao IFSP - Campus Avaré pelo apoio estrutural e por ter sido, ao longo da minha trajetória de 8 anos nessa instituição, como um lar para mim.

Meus agradecimentos ao IFSP - Campus Matão pelo apoio estrutural, à Biofábrica Agrin pela parceria e doação das larvas de insetos para a realização deste trabalho, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Quando o último peixe estiver nas águas e a última árvore for removida da terra,  
só então o homem perceberá que ele não é capaz de comer seu dinheiro

(Krenak, 2020, p.13)



## RESUMO

O biodiesel é definido como um biocombustível derivado de biomassa renovável e pode ser considerado uma alternativa ecologicamente viável aos combustíveis fósseis, por ser menos poluente e emitir menos gases de efeito estufa. A utilização de insetos surge como uma promissora matéria-prima devido ao seu elevado teor de gordura, rápido ciclo de vida, necessitar de pequenas áreas para a sua produção e apresentarem capacidade de converter uma ampla gama de resíduos orgânicos em biomassa rica em proteínas e lipídeos. Este trabalho teve como objetivo produzir biodiesel a partir dos lipídeos extraídos das larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), conhecidas como *black soldier fly larvae* (BSFL). Para tanto, com uma mini prensa mecânica os óleos das larvas foram extraídos, filtrados à vácuo após extração e, através da reação de transesterificação por rota metálica, foi produzido o biodiesel de BSFL e biodiesel de soja para comparação. As amostras foram classificadas como límpidas e isentas de impurezas (LII). Quanto ao índice de acidez, o biodiesel de soja apresentou 0,45 mg KOH.g<sup>-1</sup> e o biodiesel de BSFL 0,55 mg KOH.g<sup>-1</sup>. Os valores de massa específica a 20°C e viscosidade cinemática a 40°C ficaram dentro do limite estabelecido pela ANP (2023), obtendo 874,1 kg.m<sup>-3</sup> para o biodiesel de BSFL e 881,3 kg.m<sup>-3</sup> para o biodiesel de soja, os quais devem estar entre 850 e 900 kg.m<sup>-3</sup>. Quanto à corrosividade ao cobre, ambas obtiveram resultados dentro do limite estabelecido pela ANP (2023), classificadas com grau de corrosão 1a. O ponto de fulgor de ambas as amostras indicou valores superiores a 160°C, sendo a temperatura mínima exigida 100°C. A partir dos resultados encontrados, o biodiesel de BSFL não apresentou diferenças significativas em relação ao biodiesel de soja, o que sugere boa qualidade do óleo frente aos procedimentos utilizados, apresentando-se como uma excelente alternativa para obtenção do biocombustível, colocando as larvas de mosca soldado negro como uma fonte de energia sustentável, renovável, e uma alternativa ao tratamento de lixo orgânico resultante de alimentos descartados ou indesejados.

**Palavras-chave:** *Hermetia illucens*; Extração de lipídios; Biodiesel; Caracterização.

## ABSTRACT

Biodiesel is defined as a biofuel derived from renewable biomass and can be considered an ecologically viable alternative to fossil fuels, as it is less polluting and emits fewer greenhouse gases. The use of insects appears as a promising raw material due to their high fat content, fast life cycle, need for small areas for their production and ability to convert a wide range of organic waste into biomass rich in proteins and lipids. This work aimed to produce biodiesel from lipids extracted from the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*), known as black soldier fly larvae (BSFL). To this end, with a mini mechanical press the oils from the larvae were extracted, vacuum filtered after extraction and, through the transesterification reaction via the methyl route, BSFL biodiesel and soy biodiesel were produced for comparison. The samples were classified as clear and free of impurities (LII). Regarding the acidity index, soybean biodiesel presented 0,45 mg KOH.g<sup>-1</sup> and BSFL biodiesel 0,55 mg KOH.g<sup>-1</sup>. The specific mass values at 20°C and kinematic viscosity at 40°C were within the limit established by the ANP (2023), obtaining 874,1 kg.m<sup>-3</sup> for BSFL biodiesel and 881,3 kg.m<sup>-3</sup> for soy biodiesel, which must be between 850 and 900 kg.m<sup>-3</sup>. As for corrosivity to copper, both obtained results within the limit established by the ANP (2023), classified as corrosion grade 1a. The flash point of both samples indicated values above 160°C, with the minimum temperature required being 100°C. From the results found, BSFL biodiesel did not present significant differences in relation to soybean biodiesel, which suggests good quality of the oil compared to the procedures used, presenting itself as an excellent alternative for obtaining biofuel, placing BSFL as a sustainable, renewable energy source, and an alternative to treating organic waste resulting from discarded or unwanted food.

**Key-words:** *Hermetia illucens*; Lipid extraction; Biodiesel; Characterization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Etapas reacionais presentes na transesterificação de triacilglicerídeos.....	19
Figura 2. Mini prensa mecânica utilizada para o processo de extração da fração lipídica de BSFL.....	25
Figura 3. Excesso de resíduo remanescente no papel filtro (a) e o aspecto resultante do óleo de BSFL durante a etapa de filtragem à vácuo (b).....	27
Figura 4. Reação de transesterificação do biodiesel de BSFL (a), separação da fase rica em biodiesel da fase rica em glicerina, e outros compostos (b).....	28
Figura 5. Equipamento utilizado para teste de corrosividade ao cobre (a) os tubos adaptadores (b) com amostra dos biocombustíveis, inseridos nos tubos de ensaio.....	31
Figura 6. Analisador de ponto de névoa e fluidez MPC-102S, marca Tanaka.....	32
Figura 7. Viscosímetro Stabinger SVM 3000, marca Anton Paar.....	33
Figura 8. Óleo de BSFL bruto (a) e óleo de BSFL filtrado à vácuo (b).....	35
Figura 9. Processo de transesterificação do óleo de soja, onde houve um processo de mudança na coloração da mistura no início da reação (a), e passados 5 minutos após o início da reação (b).....	36
Figura 10. Processo de lavagem do biodiesel de soja.....	37
Figura 11. Processo de lavagem do biodiesel de BSFL.....	38
Figura 12. Análise do aspecto das amostras de biodiesel de soja (a) e BSFL (b), respectivamente.....	38
Figura 13. Espectro de comparação colorimétrica, sendo o ponto vermelho (padrão), ponto azul (biodiesel de soja) e o ponto cinza (biodiesel de BSFL).....	39

Figura 14. Tiras de cobre após análise de corrosividade, sendo (a) biodiesel de BSFL e (b) biodiesel de soja, e o conjunto de padrões de corrosão à lâmina de cobre da ASTM D130..... 43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados médios das análises de cor das amostras de biodiesel expressa através dos parâmetros luminosidade ( $L^*$ ), coordenadas $a^*$ (coordenada vermelho/verde) e $b^*$ (coordenada amarelo/azul).....	39
Tabela 2. Resultados obtidos nos ensaios de pH e condutividade.....	40
Tabela 3. Resultados obtidos referente aos parâmetros massa específica (20°C) e viscosidade cinemática (40°C), em comparação com valores encontrados na literatura.....	41
Tabela 4. Resultados obtidos nos ensaios de ponto de névoa, fluidez e fulgor.....	42
Tabela 5. Resultados obtidos de ácidos graxos livres e índice de acidez para amostras de biodiesel e óleos utilizados.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%AGL	Ácidos graxos livres
°C	Graus Celsius
°C.min <sup>-1</sup>	Graus Celsius por minuto
1a	Grau de corrosão 1a
a*	Coordenada vermelho/verde
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
b*	Coordenada amarelo/azul
B100	Biodiesel puro
BEP/dia	Barris equivalentes de petróleo por dia
BP	British Petroleum
BSF	Black soldier fly
BSFL	Black soldier fly larvae
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CP	Ponto de névoa
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
<i>et al.</i>	E outros
g	Gramas
GEE	Gás de efeito estufa

I.A	Índice de acidez
IEA	Agência Internacional de Energia
kg	Quilograma
kg.m <sup>-3</sup>	Quilograma por metro cúbico
KOH	Hidróxido de potássio
L	Litro
L*	Luminosidade
LII	Límpido e isento de impurezas
LMSN	Larvas da mosca soldado negro
M	Mol
MCT	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
mg KOH.g <sup>-1</sup>	Miligramas de hidróxido de potássio por grama
mL	Mililitros
mL.kg <sup>-1</sup>	Mililitros por quilograma
mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	Milímetros por segundo
n	Número
NaOH	Hidróxido de sódio
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
p.	Página

pH	Potencial hidrogeniônico
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PP	Ponto de fluidez
Pro biodiesel	Programa Brasileiro de Biocombustíveis
Projeto OVEG	Programa Nacional de Energia de Óleos Vegetais
Pró-Óleo	Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
v.	Volume
v/v	Volume por volume
$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Microsiemens por centímetro



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Biodiesel .....	17
2.1.1 Reação de transesterificação .....	18
2.2 Produção de biodiesel no mundo .....	20
2.3 Produção de biodiesel no Brasil.....	20
2.4 Fontes de matérias-primas alternativas .....	22
2.4.1 Mosca soldado negro.....	23
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1 Larvas de mosca soldado negro (BSFL) .....	24
3.2 Extração dos óleos de BSFL.....	25
3.3 Rendimento da extração dos óleos de BSFL .....	26
3.4 Filtragem à vácuo .....	26
3.5 Produção de biodiesel de soja por rota metílica .....	27
3.6 Produção de biodiesel de BSFL por rota metílica.....	28
3.7 Rendimento percentual das produções dos biocombustíveis .....	29
3.8 Propriedades físico-químicas e fluidodinâmicas dos biocombustíveis.....	29
3.8.1 Análise de cor .....	29
3.8.2 Teor de ácidos graxos livres e índice de acidez .....	30

3.8.3 Corrosividade ao cobre .....	30
3.8.4 Ponto de fulgor.....	31
3.8.5 Ponto de névoa e fluidez.....	32
3.8.6 Massa específica (20 °C) e viscosidade cinemática (40 °C).....	32
3.8.7 Densidade relativa .....	33
3.8.8 pH .....	34
3.8.9 Condutividade .....	34
3.9 Análise estatística .....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A procura por combustíveis renováveis tem aumentado nos últimos anos, seja pela preocupação com o meio ambiente, devido às mudanças climáticas potencializadas pelo uso exacerbado de combustíveis fósseis ou pelo crescente preço do petróleo (Da Silva *et al.*, 2016; Krause, 2008; Lin; Lu, 2021).

Dos combustíveis renováveis, o biodiesel é um dos mais promissores (Deeba *et al.*, 2016). Segundo a legislação brasileira, o biodiesel é definido como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (Brasil, 2005). O Brasil é o segundo maior produtor de biodiesel no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (Liane, 2023). A lei Nº 11.097/2005, regularizou o uso de mistura de 2% de biodiesel em mistura com o óleo diesel para comercialização como combustível automobilístico (Geris *et al.*, 2007). Através de metas do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o valor da mistura de biodiesel puro (B100) em óleo diesel poderá chegar a 15% em 2023 (Soares, 2020). Pesquisas mostram que conforme o aumento da porcentagem de B100 na mistura, as emissões de gases de efeito estufa diminuem (Silva; Freitas, 2008).

Quimicamente, o biodiesel é um combustível renovável formado por ésteres alquílicos de cadeia longa. As suas principais matérias-primas são óleos vegetais e gorduras animais. O processo de produção do B100 mais utilizado em pesquisas e pela indústria é a transesterificação (De Freitas *et al.*, 2022). Este processo é realizado através da adição de um óleo vegetal ou gordura animal e um álcool (metanol ou etanol) e, com a ajuda de catalisador, forma-se o biodiesel (Soares, 2020). Qualquer ácido graxo pode ser utilizado como fonte de produção de biodiesel, mas o biodiesel produzido por óleo de soja ainda é o mais utilizado como padrão (De Freitas *et al.*, 2022).

Os óleos vegetais são fontes renováveis e consideravelmente limpas para a produção de biodiesel. Entretanto, o alto consumo energético eventualmente exigirá aumento na produção de biodiesel, com consequente aumento na área de produção de vegetais para suprir esta demanda (Roy *et al.*, 2016), e no custo da safra, impactando a viabilidade econômica dos biocombustíveis pelo motivo do preço de uma matéria-prima

representar 80% do custo total da produção dos biocombustíveis (Harahap; Silveira; Khatiwada, 2019).

Como alternativa aos óleos vegetais, os insetos podem ser uma fonte de óleos sustentável, renovável e de considerável baixo custo (Mohan *et al.*, 2023). Devido a sua taxa de reprodução rápida, alto teor de gordura e ciclo de vida curto, as larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) são matérias-primas promissoras (Nguyen *et al.*, 2017). As larvas convertem eficientemente resíduos orgânicos, como esterco animal (Zheng *et al.*, 2012), biomassa lignocelulósica (Nguyen *et al.*, 2017) e alimentos descartados ou indesejados (Li *et al.*, 2011), em biomassa rica em proteínas e lipídios (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2012). O conteúdo lipídico pode ser extraído e utilizado para a produção de biodiesel (Nguyen *et al.*, 2017), e a torta remanescente da extração dos lipídios pode ser utilizada como fonte proteica alternativa à farelo de soja ou farinha de peixe para rações de aves (Onsongo *et al.*, 2018), peixes (Iaconisi *et al.*, 2017) e suínos (Biasato *et al.*, 2019).

Portanto, com uso do metabolismo destes insetos, é possível transformar lixo biológico em proteína animal e biocombustíveis (biodiesel).

## **1.1 PROBLEMATIZAÇÃO**

Os elevados níveis de poluição ambiental e a natureza não renovável dos combustíveis fósseis têm suscitado preocupações (EPE, 2017), potencializado a procura por combustíveis renováveis (Krause, 2008) e gerado uma transformação na composição global de fontes de energia (Meza, 2018).

Dentre os combustíveis renováveis, o biodiesel é considerado um dos mais promissores (Deeba *et al.*, 2016). A principal matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel são os óleos vegetais, os quais são fontes renováveis. No entanto, o alto consumo energético, eventualmente, exigirá aumento na produção de biodiesel com consequente aumento na área de produção (Roy *et al.*, 2016).

Como alternativa aos óleos vegetais, os insetos podem ser uma fonte de óleos sustentável e renovável (Nakagaki; Defoliart, 1991). Se caracterizando como uma promissora matéria-prima para a produção de biodiesel devido ao seu elevado teor de gordura, rápido ciclo de vida, menor área de produção em comparação com outros tipos

de matérias-primas e a eficiente conversão de resíduos orgânicos em biomassa rica em proteínas e lipídios (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2012).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Produzir biodiesel a partir dos lipídeos extraídos das larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Extração dos lipídios das larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*)
- b) Produção de biodiesel a partir de óleo de soja, como padrão para comparação;
- c) Produção de biodiesel a partir de óleos das larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*);
- d) Caracterização físico-química dos biocombustíveis produzidos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Biodiesel**

A primeira menção do termo biodiesel na literatura científica ocorreu na década de 1980 no *Chemical Abstracts*. A partir disso, tornou-se cada vez mais difundido e utilizado. Embora seja um termo recente, a utilização de óleos vegetais e gorduras animais como matérias-primas para a produção de combustível remonta ao final do século XIX (Suarez; Meneghetti, 2007).

O inventor do motor a diesel, Rudolf Diesel (1858-1913), em seu livro, *O Surgimento das Máquinas Diesel*, relatou um acontecimento ocorrido na Exposição de Paris de 1900, em que a empresa francesa Otto demonstrou o funcionamento de uma máquina a diesel com a utilização de óleo de amendoim como combustível. Um dos

primeiros trabalhos relacionados com combustíveis de óleo vegetal no mundo (Knothe, 2006 b).

O uso direto do óleo vegetal não processado pode ocasionar problemas nos motores a diesel, como a formação de depósitos de carbono, obstrução nos filtros de óleo e entupimento dos bicos injetores, comprometendo assim a durabilidade do motor. Isso ocorre devido à alta viscosidade do óleo *in natura*. Portanto, torna-se essencial a conversão do óleo, composto majoritariamente de triacilglicerídeo, em éster (biodiesel) para evitar tais inconvenientes (Yusuf *et al.*, 2011).

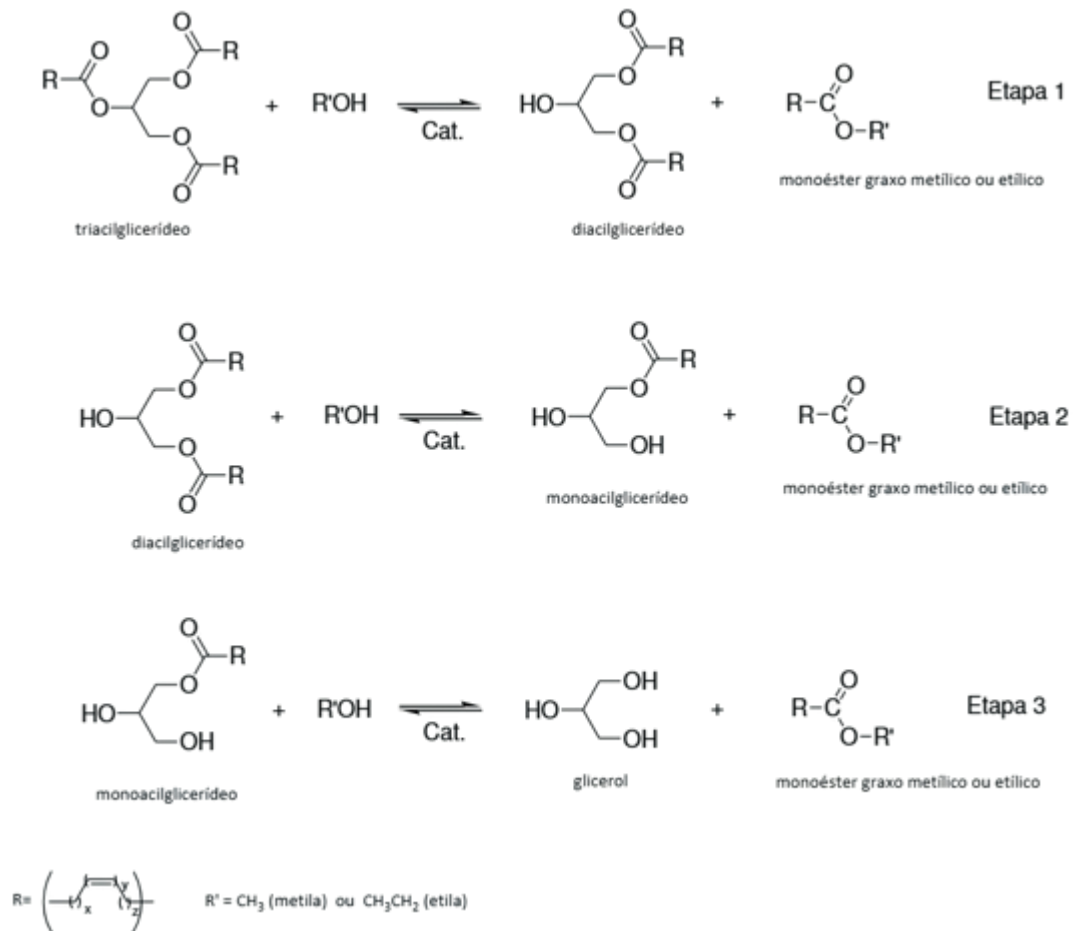
As vantagens do biodiesel, em contraste com o diesel fóssil, decorrem de sua origem em matérias-primas renováveis, incluindo óleos vegetais e gorduras de origem vegetal ou animal. Isso significa que o biodiesel não está sujeito à dependência de combustíveis derivados do petróleo, frequentemente associados à poluição e à emissão de gases de efeito estufa (Knothe *et al.*, 2006b).

O processo mais comumente utilizado na produção de biodiesel é a reação de transesterificação.

### **2.1.1 Reação de transesterificação**

A reação de transesterificação é um processo no qual as moléculas de triglicerídeos encontradas em gorduras de origem animal ou óleos vegetais reagem com um álcool de cadeia curta, na presença de um agente catalisador, resultando na formação de ésteres e glicerol. Envolve três etapas consecutivas e reversíveis, resultando na formação de diglicerídeos e monoglicerídeos como intermediários (Borges; Díaz, 2012). A maior parte dos trabalhos descritos na literatura utiliza catalisadores básicos, tais como KOH e NaOH (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009).

**Figura 1** - Etapas reacionais presentes na transesterificação de triacilglicerídeos.



**Fonte:** Meneghetti; Meneghetti; Brito (2013).

Inicialmente, ocorre a reação reversível de uma molécula de triglicerídeo com álcool, formando uma molécula de diglicerídeo e éster, conforme apresentado na Etapa 1 da figura 1. Em seguida, a conversão de diglicerídeo em monoglicerídeo, demonstrado na Etapa 2. Finalizando, na Etapa 3, com a reação de uma molécula de monoglicerídeo com álcool, resultando em ésteres e glicerol (Chozhavendhan *et al.*, 2020).

Os álcoois mais empregados na transesterificação de óleos e gorduras são o metanol e etanol. Por ser mais reativo, o metanol, resulta em reações com menores temperaturas e tempo de reação, separação espontânea da glicerina dos ésteres metílicos e elevada conversão dos triglicerídeos em ésteres. Por sua vez, mesmo sendo renovável e presente menor toxicidade, o etanol, quando utilizado na reação de

transesterificação, promove dispersão da glicerina, dificultando sua separação dos ésteres (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009).

## **2.2 Produção de biodiesel no mundo**

Em 2018, a maior parte da energia consumida em todo o mundo, cerca de 86,1%, ainda provinha de fontes não renováveis, incluindo petróleo, gás natural, carvão e energia nuclear (IEA, 2021).

A dependência global dos combustíveis fósseis como principal fonte de energia tem suscitado preocupações devido aos elevados níveis de poluição ambiental que geram e à sua natureza não renovável, ou seja, finita (EPE, 2017). A crescente dependência de combustíveis fósseis, especialmente o petróleo, pode potencialmente levar a uma escassez desses recursos ao longo deste século, resultando em redução do consumo e impulsionando uma transformação na composição global de fontes de energia (González, 2018).

Devido às desvantagens associadas ao uso de combustíveis fósseis mencionados anteriormente, as fontes de energia renovável estão conquistando uma posição cada vez mais proeminente na matriz energética global. Além disso, para promover a adoção dessas fontes de energia limpa, muitos países têm implementado políticas e planos que estabelecem metas obrigatórias, impulsionando assim o crescimento desse setor (Aboagye *et al.*, 2021).

De acordo com informações do *Statistical Review of World Energy* (BP, 2021), o consumo de biodiesel registrou um aumento de 132% no período de 2010 a 2020, chegando a alcançar a marca de 682 mil barris de petróleo equivalente por dia (BEP/dia). Durante esse mesmo intervalo de tempo, a parcela de biodiesel no consumo global de biocombustíveis aumentou significativamente, passando de 26% para 41%.

## **2.3 Produção de biodiesel no Brasil**

O aumento dos preços do petróleo depois da crise de 1973, devido ao controle do preço e da oferta de petróleo dos países exportadores pela Organização dos Países



Exportadores de Petróleo (OPEP), resultou no aumento da atenção voltada aos biocombustíveis (Yergin, 2014).

O rápido e repentino aumento dos preços do petróleo e, por consequência, dos seus derivados, resultou na reflexão sobre a necessidade de redução da dependência por petróleo e o aumento da segurança energética das nações. Desta forma, o Brasil lançou programas que tinham como objetivo diversificar a matriz de combustíveis do país visando a vantagem territorial, climática e o vasto conhecimento agrícola para a produção energética (Biodieselbr, 2012).

Para isso, lançou-se em 1975, o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-Óleo) que visava o uso de óleos vegetais nos motores a diesel (Faria *et al.*, 2010). E também foram desenvolvidas tecnologias nos institutos de pesquisa para o uso do biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleos vegetais (Parente, 2003).

O Governo Brasileiro lançou, em 1983, o Programa Nacional de Energia de Óleos Vegetais (Projeto OVEG), que realizou testes utilizando óleos vegetais, biodiesel e mistura de combustíveis em diferentes tipos de veículos. Foi constatado que os testes realizados apresentaram viabilidade técnica do uso de biodiesel em motores, no entanto, ainda sem produção de biodiesel em escala comercial (Domingues, 2016).

Posteriormente, nos anos 2000, adicionou-se à motivação de maior segurança do abastecimento energético, preocupações mundiais com o meio ambiente. Os biocombustíveis apresentam grande potencial no combate aos desafios socioambientais, haja visto seu papel para a redução das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), em foco, no setor de transportes (EPE, 2017).

As pesquisas referentes ao biodiesel proporcionaram a construção de outros programas de complementação ou substituição do diesel de petróleo (Petry, 2020). Em 2002, institui-se o Programa Brasileiro de Biocombustíveis (ProBiodiesel) na esfera do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), criando a Rede Brasileira de Biodiesel, a qual reuniu especialistas e entidades responsáveis pelo desenvolvimento e industrialização do biodiesel e homologação das especificações de qualidade do biocombustível (Pedroti, 2013).

Resultando na formulação e lançamento em 2003, durante o Governo Lula, a elaboração das bases de uma política pública relacionada à implementação de uma nova cadeia produtiva no país, inserindo o biodiesel na matriz energética nacional com metas de geração de emprego, garantia de suprimento, qualidade, preços e investimento privado (Pedroti, 2013).

Em 2004, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) (Pedroti, 2013). A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, onde regulamentou-se o uso voluntário da mistura de 2% de biodiesel no diesel (Petry, 2020).

Através da Resolução nº16 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), foi oficializada a mudança gradativa dos percentuais de adição do biodiesel no óleo diesel. Ampliou-se de 10% para 12% a mistura de biodiesel no diesel a partir de 1º de abril de 2023. O percentual subirá para 13%, após um ano. Atingindo 14% em 2025 e, em 2026, chegará aos 15% (CNPE, 2023).

Os estados brasileiros líderes na produção de biodiesel são o Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Paraná e Goiás, os quais, juntos, contribuíram com 79,3% da produção nacional em 2021 (Vidal, 2022).

## **2.4 Fontes de matérias-primas alternativas**

O biodiesel é um combustível derivado de fontes renováveis e pode ser considerado uma alternativa ecologicamente viável ao diesel de petróleo (Tabatabaei *et al.*, 2019). Entre as diversas matérias-primas disponíveis, os óleos vegetais são os mais comumente utilizados na produção de biodiesel, representando a maioria esmagadora, cerca de 95%, de todas as matérias-primas para biodiesel (Koh; Ghazi, 2011).

No entanto, a utilização extensiva de óleos vegetais refinados como a matéria-prima principal para a produção de biodiesel poderia potencialmente criar um cenário de desequilíbrios econômicos (Canesin *et al.*, 2014). São necessárias extensas áreas agrícolas para cultivo das espécies, fato que pode provocar o aumento do desmatamento em regiões com cobertura vegetal nativa. Também, a utilização destas fontes para a

produção de combustíveis pode impactar a cadeia de insumos alimentícios, diminuindo a oferta de grãos e interferindo nos valores destes, por exemplo (Carneiro *et al.*, 2017).

Portanto, a análise sistemática da viabilidade do uso de matérias-primas não tradicionais é crucial para tornar o biodiesel mais atrativo e economicamente competitivo (Aguieiras *et al.*, 2017).

Para a produção de biodiesel, uma ampla gama de fontes ricas em lipídeos tem sido investigada, abrangendo óleos vegetais (Refaat, 2010), gordura animal (Cunha *et al.*, 2013), óleos de cozinha usados (Berrios *et al.*, 2011), microrganismos oleaginosos, tais como microalgas (Ashokkumar *et al.*, 2015, 2019) e fungos (Carvalho *et al.*, 2018), além de cepas bacterianas (Behera *et al.*, 2019), leveduras (Chopra *et al.*, 2020) e insetos (Mohan *et al.*, 2023).

Os insetos têm sido uma escolha promissora para a produção de biodiesel devido ao seu elevado teor de gordura e à facilidade de obtenção (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2012). Nota-se que os insetos possuem um teor de gordura considerável, podendo variar de 34% a 58%, o que é comparável aos teores de óleo de canola (40%), óleo de colza (38% a 46%), óleo de pinhão-manso (30% a 40%), óleo de palma (30% a 50%), óleo de soja (15% a 20%) e óleo de girassol (25% a 35%) (Ambat *et al.*, 2018). Além disso, os insetos apresentam a vantagem de possuírem um rápido ciclo de vida e necessitarem de uma menor área em comparação com outros tipos de matérias-primas (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2012).

Um exemplo de espécie de inseto com grande potencial na produção de biodiesel são as larvas de *Hermetia illucens*, também conhecidas como larvas da mosca soldado negro (LMSN) ou *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL). As larvas da mosca soldado negra se destacam por sua capacidade de degradar uma ampla gama de resíduos orgânicos, incluindo restos de comida, resíduos industriais, esterco de animais e dejetos humanos (Li *et al.*, 2015).

#### **2.4.1 Mosca soldado negro**

A mosca soldado negro, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae), é uma espécie vastamente difundida em regiões tropicais, assim como em inúmeras regiões subtropicais e temperadas (Ståhls *et al.*, 2020).

Seu ciclo de vida é composto por quatro estágios: ovo, larva, pupa e adulto. Geralmente, os adultos acasalam após dois dias de emergência (Tomberlin; Sheppard, 2002). As faixas de temperatura e umidade ideais para o acasalamento e oviposição está entre 27°C – 37°C, 40% – 60% de umidade e 60% – 70% de umidade relativa (Jalil *et al.*, 2021). As fêmeas adultas são capazes de ovipositar de 300 a 1.000 ovos (Caruso *et al.*, 2014), e os depositam em um único conjunto dois dias após o acasalamento (Tomberlin; Sheppard, 2002). Os ovos são alocados em locais que oferecem proteção contra predadores e próximos a possíveis fontes de alimento. (Tomberlin *et al.*, 2009). Em cerca de quatro dias, os ovos eclodem, dando origem às larvas (Dortmans *et al.*, 2017).

Dependendo do tamanho das larvas, do tipo do substrato disponível e das condições ambientais, elas são capazes de reduzir resíduos orgânicos alimentícios em cerca de 68% (Diener, 2011). Normalmente, o estágio larval dura 14 dias ou mais, dependendo da disponibilidade de alimento (Tomberlin; Sheppard; Joyce, 2002) e de condições ambientais adequadas (Holmes, 2010).

Durante o último estágio larval, conhecido como pré-pupa, as larvas se afastam de suas fontes de alimento em busca de um local seco e protegido (Sheppard *et al.*, 1994). Ao utilizar um ambiente projetado, o seu típico comportamento migratório pode ser explorado como uma forma de “auto colheita”, também conhecido por “*self-harvesting*” (Sheppard *et al.*, 1994), visando a extração de lipídios e proteína para a geração de produtos de valor agregado, como farinha de insetos utilizado na alimentação animal e na produção de biocombustíveis (Surendra *et al.*, 2016).

Dentro do cenário de uma demanda crescente por alimentos, ração e combustível, aliado à urgência de administrar resíduos orgânicos, a utilização de insetos para a conversão eficaz de resíduos orgânicos em combustível e ração se apresenta como uma abordagem inovadora e promissora (Surenda *et al.*, 2016).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Larvas de mosca soldado negro (BSFL)**

As larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), foram gentilmente doadas pela biofábrica Agrin - Criação e Comércio de Insetos, localizada no município de Avaré – SP. Todas as larvas fornecidas vieram previamente abatidas e desidratadas.

### 3.2 Extração dos óleos de BSFL

Uma maneira eficaz para a extração do conteúdo lipídico das larvas consiste em realizar uma extração mecânica usando uma prensa de rosca, que é comumente empregada na extração de óleo de sementes e nozes (Dortmans *et al.*, 2017). Para tanto, utilizou-se uma mini prensa mecânica para a extração dos óleos de BSFL e uma peneira para conter os resíduos sólidos durante a extração (Figura 2). Parte do óleo extraído foi armazenado em potes de vidro de 500 mL, e posteriormente realocado em tubos Falcon, facilitando o manuseio, possibilitando o aquecimento fracionado e facilitando o processo de filtragem.

**Figura 2** – Mini prensa mecânica utilizada para o processo de extração de lipídios de BSFL.



**Fonte:** Autoria própria.

### 3.3 Rendimento da extração dos óleos de BSFL

Para o cálculo do rendimento da extração dos óleos de BSFL foi utilizada a Equação 1, considerando o volume de óleo extraído por massa de larvas processadas.

$$R_{\text{extração óleo}} = \frac{V_{\text{óleo extraído}}}{m} \quad (1)$$

Em que:

$R_{\text{extração óleo}}$ : Rendimento da extração dos óleos de BSFL em mL/kg;

$V_{\text{óleo extraído}}$ : Volume de óleo extraído em mL;

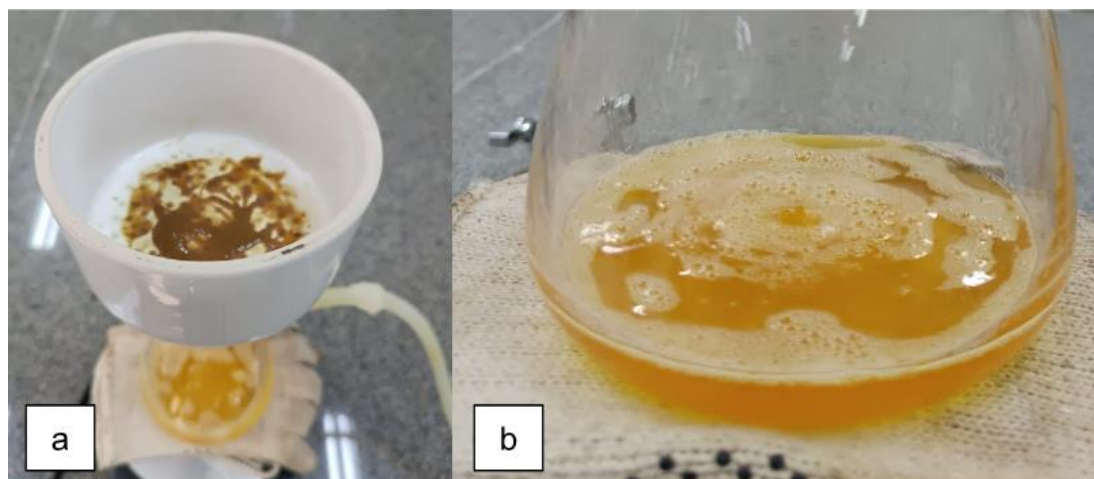
$m$ : Massa de BSFL prensada em kg.

### 3.4 Filtragem à vácuo

Em seguida ao processo de extração dos óleos das larvas, de forma fracionada, os óleos armazenados foram alocados em banho-maria, e posteriormente realizou-se uma etapa de filtragem à vácuo, a fim de retirar o maior número de impurezas presentes no óleo extraído.

Com uma pipeta Pasteur, pequenas quantidades de óleos de BSFL foram distribuídas pelo papel filtro qualitativo, e a cada repetição, todo o excesso de resíduo era retirado com uma espátula de alumínio, como apresentado na Figura 3.

**Figura 3** - Resíduo remanescente no papel filtro (a) e o aspecto resultante do óleo de BSFL durante o processo de filtração à vácuo (b).



Fonte: Autoria própria.

### 3.5 Produção de biodiesel de soja por rota metílica

Para a produção do biodiesel a partir do óleo de soja pela rota metílica, foi utilizada uma metodologia adaptada do trabalho de Geris (2007). Para isto, foi dissolvido 3 g de KOH (catalisador) em 70 mL de metanol (álcool) com auxílio de agitação e temperatura a 45°C em capela, obtendo uma solução com uma concentração de 42,9 g.L<sup>-1</sup>. Separadamente, em um Becker foi adicionado 200 mL de óleo de soja, sendo aquecido em banho-maria até atingir a temperatura de 45°C. Posteriormente, adicionou-se a solução de KOH e metanol ao óleo, mantendo em agitação por mais 15 minutos. Após este período a mistura foi transferida para um funil de separação para decantação por um período de 24 horas, período suficiente para que as duas fases fossem formadas, uma fase rica em biodiesel (fase superior) e a outra fase rica em glicerina (fase inferior).

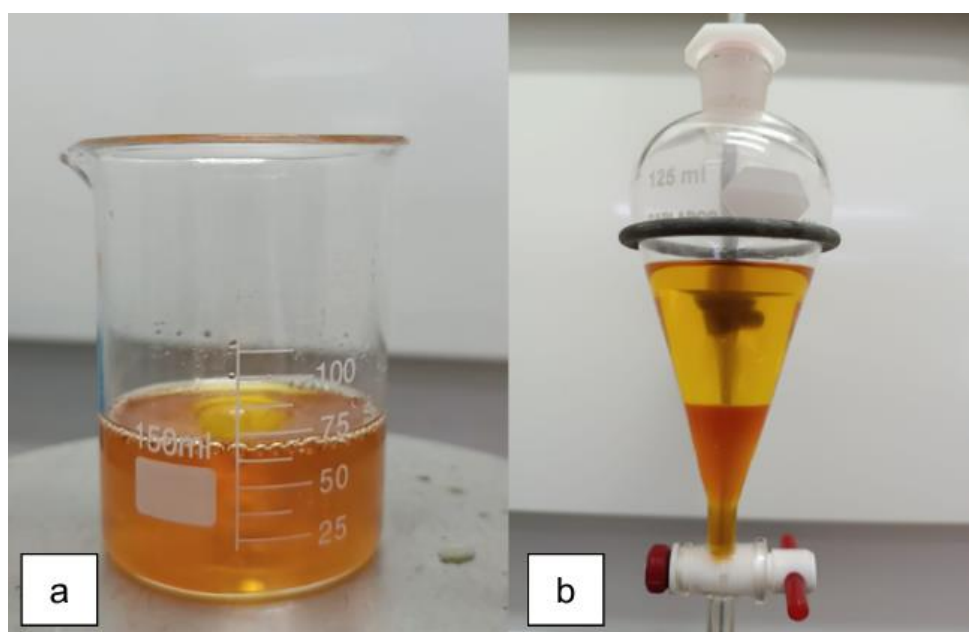
Para que os ésteres resultantes da reação de transesterificação não apresentassem elevada concentração de impurezas como glicerina livre, glicerídeos não esterificados, e álcool residual, a amostra foi submetida ao processo de lavagem, a qual consistiu na adição de 100 mL de água destilada ao biodiesel bruto mantido no funil de separação, agitação da mistura até completa homogeneidade e decantação por um período de 24 horas.

Passado o período de 24 horas em decantação após a terceira lavagem, a fase inferior contendo os resíduos foi removida, resultando ao término do processo, o biodiesel lavado. Para o processo de lavagem foram realizadas três lavagens sequenciais, sendo L1 (primeira lavagem), L2 (segunda lavagem) e L3 (terceira lavagem).

### 3.6 Produção de biodiesel de BSFL por rota metilica

Para a produção do biodiesel a partir do óleo de larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) pela rota metilica, foi utilizada uma metodologia adaptada do trabalho do Geris (2007). Para isto, foi dissolvido 0,75 g de KOH (catalisador) em 17,5 mL de metanol (álcool) com auxílio de agitação e temperatura a 45 °C em capela, obtendo uma solução com concentração de 42,9 g.L<sup>-1</sup>. Separadamente, em um Becker, foi adicionado 50 mL de óleo de BSFL, sendo aquecido em banho-maria até atingir a temperatura de 45 °C. Posteriormente, adicionou-se a solução de KOH e metanol ao óleo, mantendo em agitação por mais 15 minutos. Após este período a mistura foi transferida para um funil de separação para decantação por um período de 24 horas. Período suficiente para que para que as duas fases fossem formadas, uma fase rica em biodiesel (fase superior) e a outra fase rica em glicerina (fase inferior). (Figura 4).

**Figura 4** - Reação de transesterificação do biodiesel de BSFL (a), separação da fase rica em biodiesel da fase rica em glicerina, e outros compostos (b).





**Fonte:** Autoria própria.

Para que os ésteres resultantes da reação de transesterificação não apresentassem elevada concentração de impurezas como glicerina livre, glicerídeos não esterificados, e álcool residual, a amostra foi submetida ao processo de lavagem, a qual consistiu na adição de 25 mL de água destilada ao biodiesel bruto mantido no funil de separação, agitação da mistura até completa homogeneidade e decantação por um período de 24 horas.

Passado o período de 24 horas em decantação após a terceira lavagem, a fase inferior contendo os resíduos foi removida, resultando ao término do processo, o biodiesel lavado. Para o processo de lavagem foram realizadas três lavagens sequenciais, sendo L1 (primeira lavagem), L2 (segunda lavagem) e L3 (terceira lavagem).

### **3.7 Rendimento percentual das produções dos biocombustíveis**

Para o cálculo do rendimento percentual da quantidade de biodiesel produzido foi utilizado a Equação 2.

$$R_{biodiesel} = \frac{V_{biodiesel}}{V_{\acute{o}leo}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Em que:

$R_{biodiesel}$  : Rendimento percentual da quantidade de biodiesel produzido;

$V_{biodiesel}$  : Volume de biodiesel produzido em mL;

$V_{\acute{o}leo}$  : Volume de óleo utilizado em mL.

### **3.8 Propriedades físico-químicas e fluidodinâmicas dos biocombustíveis**

#### **3.8.1 Análise de cor**

Para a realização das medidas de cor dos biocombustíveis produzidos, foi utilizado um colorímetro (Delta Color) previamente calibrado com padrões preto e branco. Para a realização da análise, adicionou-se 5 mL a uma cubeta de vidro de 5 mL, e em seguida, a cubeta foi acoplada ao equipamento. Automaticamente, o espectro de absorção, bem

como os parâmetros de coordenadas L\* (luminosidade), a\* (coordenada vermelho/verde) e b\* (coordenada amarelo/azul) foram obtidos para as amostras. A cor dos respectivos biocombustíveis produzidos foram comparados entre si.

### 3.8.2 Teor de ácidos graxos livres e índice de acidez

O teor de ácidos graxos livres e índice de acidez foram determinados segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz, que utiliza como solução titulante o hidróxido de sódio (NaOH 0,01 M), para óleos e gorduras refinados, e fenolftaleína como indicador. Para tanto, foi pesado 2 g de amostra em frasco Erlenmeyer de 125 mL e estes foram diluídos em 25 mL de solução de éter-álcool etílico na proporção de 2:1 (v/v), adicionou-se duas gotas do indicador fenolftaleína e foi titulado com solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,01 M) até o aparecimento da coloração rósea por 30 segundos. Para os cálculos da porcentagem de ácidos graxos livres (%AGL) e índice de acidez (I.A) foram utilizadas as Equações 3 e 4.

$$\%AGL = \frac{v \times 28,2 \times f}{m} \quad (3)$$

$$I. A. = \frac{v \times f \times 56,1}{m} \quad (4)$$

Em que:

v : Número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,01 M gasto na titulação;

f : Fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,01 M;

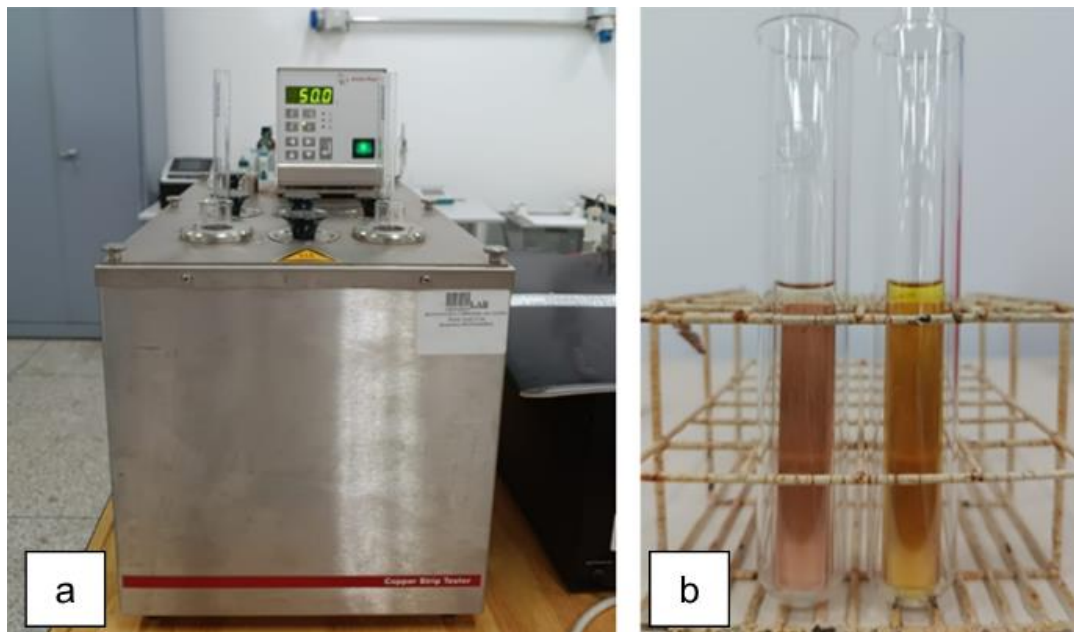
m : Número de g da amostra.

### 3.8.3 Corrosividade ao cobre

Para a análise de corrosividade ao cobre, utilizou-se o equipamento Copper Strip Test da marca *Anton Paar* (Figura 5), equipamento disposto no IFSP – Campus Matão. Ao ligar o aparelho, a temperatura do banho foi configurada para 50 °C. Em seguida, duas tiras de cobre previamente polidas, foram adicionadas em tubos adaptadores, os quais foram preenchidos até que as tiras ficassem completamente submersas na

amostra. Assim que o aparelho atingiu a temperatura desejada, os dois tubos foram colocados em banho térmico à temperatura de 50 °C por 3 horas. Ao término da análise, as tiras foram retiradas dos tubos e comparadas ao conjunto de padrões de corrosão ao cobre da ASTM D130.

**Figura 5** - Equipamento utilizado para teste de corrosividade ao cobre (a) os tubos adaptadores (b) com amostra dos biocombustíveis, inseridos nos tubos de ensaio.



Fonte: Autoria própria.

### 3.8.4 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor foi determinado utilizando um aparelho de vaso fechado Pensky-Martens automático, marca Tanaka Scientific Limited, modelo apm-8fc, equipamento disposto no IFSP – Campus Matão. O método utilizado foi o ASTM C-normal, em que se baseia em aquecer a amostra, com uma taxa de aquecimento de 5 a 6 °C/min, até que se obtenha uma temperatura 20 °C antes da temperatura sugerida como temperatura expectativa, a qual foi estabelecida como 180 °C. A partir deste ponto, a chama é aplicada no vaso a cada 2 °C até o momento de atingir o ponto de fulgor, liberando uma chama.

### 3.8.5 Ponto de névoa e fluidez

O ponto de fluidez e névoa foram determinados utilizando um mini analisador automático de ponto de fluidez/névoa, modelo MPC-102S, marca Tanaka, equipamento disposto no IFSP – Campus Matão (Figura 6).

**Figura 6** - Analisador de ponto de fluidez/névoa MPC-102S, marca Tanaka.



Fonte: Autoria própria.

### 3.8.6 Massa específica (20 °C) e viscosidade cinemática (40 °C)

Para determinar estes parâmetros, foi utilizado um viscosímetro Stabinger, modelo SVM 3000, marca Anton Paar, equipamento disposto no IFSP – Campus Matão, conforme apresentado na Figura 7. Para a medição, foi posicionada uma seringa contendo aproximadamente 5 mL de amostra na entrada de enchimento e de forma lenta e uniforme foi injetada a amostra no equipamento, evitando a formação de bolhas no tubo. Ao término do ensaio, os valores dos parâmetros são impressos de forma automática.

**Figura 7** - Viscosímetro Stabinger SVM 3000, marca Anton Paar.



**Fonte:** Autoria própria.

### 3.8.7 Densidade relativa

A densidade relativa é utilizada como uma forma de comparar uma amostra com outra padrão. Desvios de densidade em comparação a uma amostra padrão é um indicativo direto da presença de diferentes compostos na mistura, bem como as interações que ocorrem entre elas. A amostra padrão foi o biodiesel produzido por óleo de soja. A densidade relativa foi obtida pela Equação 5.

$$dr = \frac{d}{d_0} \quad (5)$$

Em que:

dr : Densidade relativa, adimensional;

d : Densidade da amostra, kg.m<sup>-3</sup>;

d<sub>0</sub> : Densidade da amostra padrão, kg.m<sup>-3</sup>.

### **3.8.8 pH**

Para a medição do pH das amostras, o equipamento utilizado foi um pHmetro, da marca Del Lab, modelo DLA – pH, previamente calibrado.

### **3.8.9 Condutividade**

Os ensaios foram realizados em um condutivímetro da marca Metrohm, modelo 856, previamente calibrado, com uma célula de medição de condutividade de aço inoxidável com constante de células de 0,1 cm<sup>-1</sup>.

### **3.9 Análise estatística**

As médias e os respectivos desvios-padrão obtidos foram analisados através da comparação de médias aplicando ANOVA e teste Tukey com 95% de confiança. Essas análises foram realizadas no software R versão 4.1.0 (<https://www.r-project.org/>).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

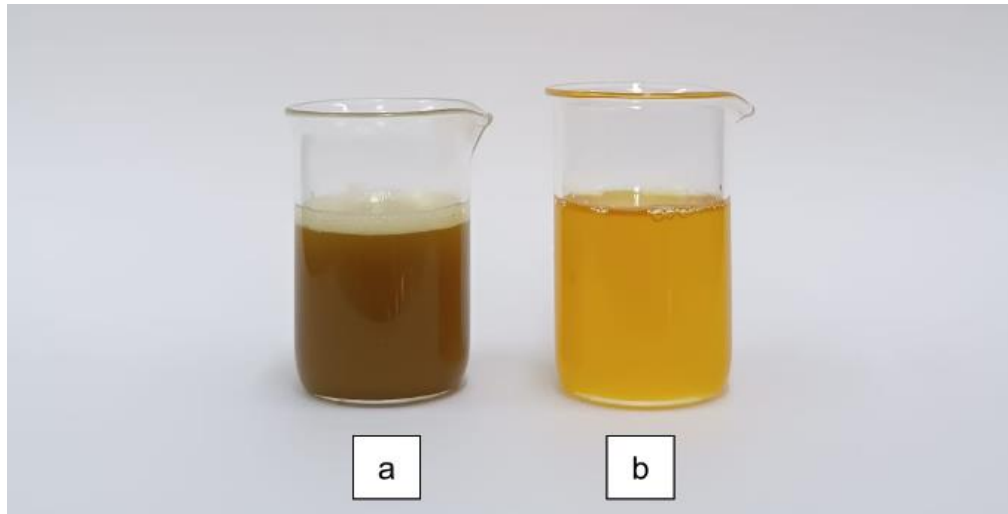
### **4.1 Rendimento da extração do óleo**

A doação por parte da biofábrica Agrin Criação e Comércio de Insetos, foi de 20 kg de BSFL. As larvas foram submetidas à prensagem mecânica onde se extraiu aproximadamente 5 L de óleo bruto. Portanto, ao utilizar a Equação 1, foi obtido rendimento da extração do óleo de aproximadamente 250 mL.kg<sup>-1</sup> de BSFL.

### **4.2 Óleo de BSFL bruto após filtração**

A partir da Figura 8 é apresentado o resultado obtido após o óleo bruto de BSFL ser processado por filtração à vácuo utilizando filtro qualitativo. Nota-se a diferença de coloração entre as amostras, resultando em um óleo mais límpido e com menor concentração de impurezas.

**Figura 8** - Óleo de BSFL bruto (a) e óleo de BSFL filtrado à vácuo (b).



Fonte: Autoria própria.

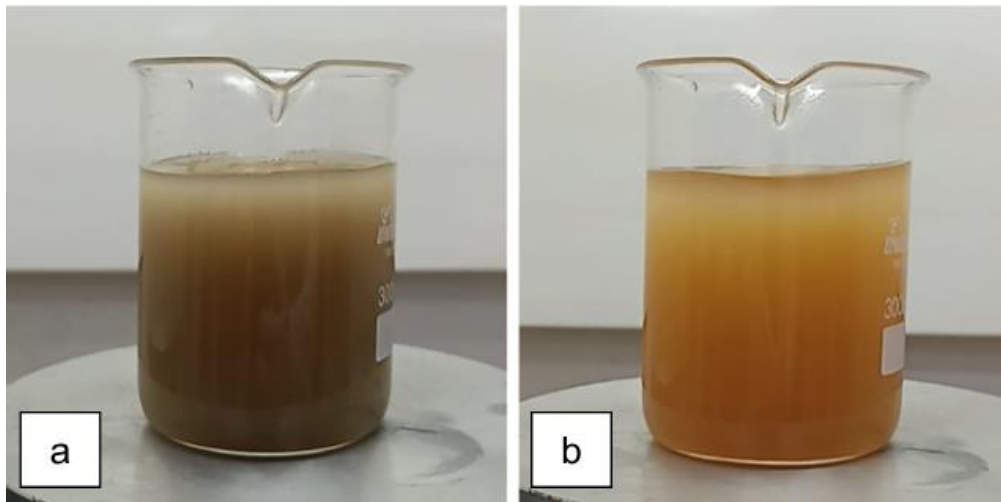
#### **4.3 Rendimento percentual da reação de transesterificação**

O rendimento percentual da conversão dos óleos em biodiesel foi obtido a partir da Equação 2. Obtendo um rendimento percentual de  $98,3 \pm 1,15$  % na produção de biodiesel de BSFL e  $98,5 \pm 0,5$  % no rendimento da produção do biodiesel de soja, não apresentando diferença significativa, ao nível de significância de 5%, pelo teste Tukey.

#### **4.4 Comportamento da reação de transesterificação do biodiesel de soja**

Na Figura 9, é observado o comportamento da mistura durante a reação de transesterificação.

**Figura 9** - Processo de transesterificação do óleo de soja, onde houve um processo de mudança na coloração da mistura no início da reação (a), e passados 5 minutos após o início da reação (b).



**Fonte:** Autoria própria.

De imediato, observou-se a mudança de coloração da mistura, de um “amarelo límpido”, característico do óleo de soja, para uma coloração “verde acinzentado e opaco”, para então, após cerca de 5 minutos, apresentar uma coloração “amarelo alaranjado e opaco”, permanecendo até o término da reação. Mudanças de coloração durante a reação de transesterificação do óleo de soja, também foram observadas por Ferrari, Oliveira, e Scabio (2005), e de acordo com os mesmos autores, este pode ter sido o sinal visual de que os triglicerídeos tenham sido convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos.

#### **4.5 Processo de lavagem dos biocombustíveis**

Para o processo de lavagem foram realizadas três lavagens sequenciais, sendo L1 (primeira lavagem), L2 (segunda lavagem) e L3 (terceira lavagem). Como apresentado na Figura 10 e 11.



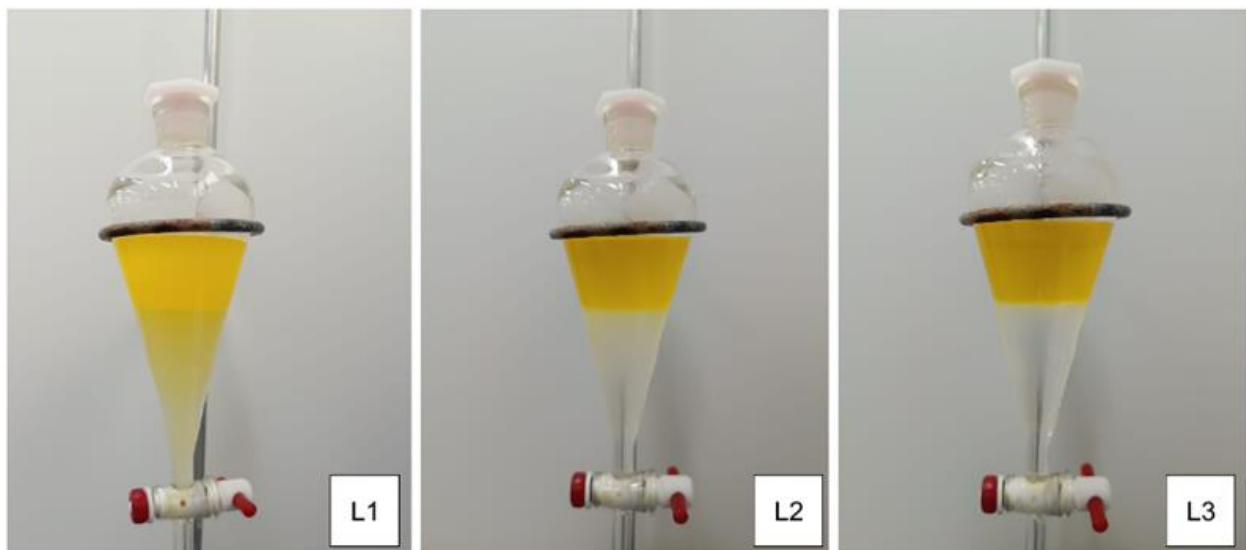
**Figura 10** - Processo de lavagem do biodiesel de soja.



Fonte: Autoria própria.

Assim como o biodiesel de soja, o biodiesel de BSFL também passou pelo processo de lavagem, como apresentado na Figura 11.

**Figura 11** - Processo de lavagem do biodiesel de BSFL.



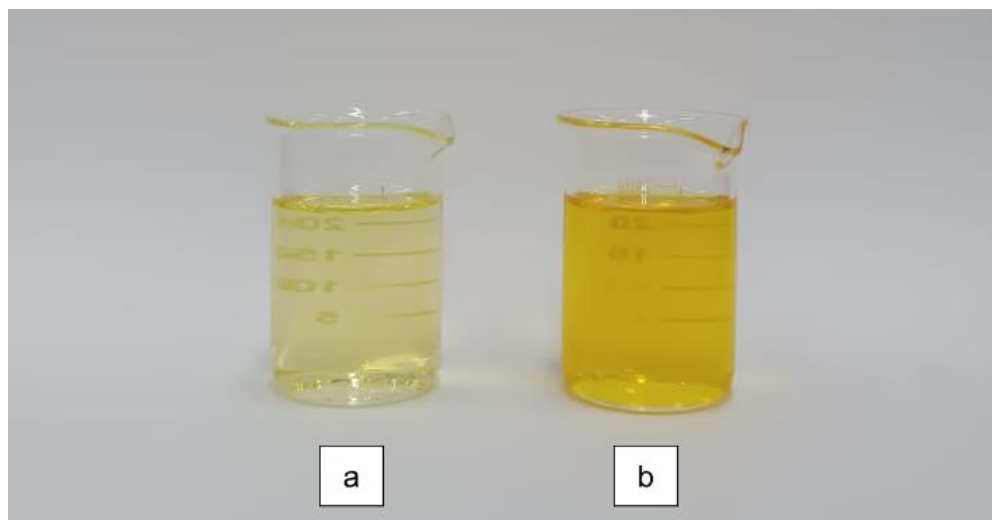
Fonte: Autoria própria.

Passado o período de 24 horas em decantação após a terceira lavagem, a fase inferior contendo os resíduos foi removida, resultando ao término do processo, o biodiesel lavado.

#### 4.6 Aspecto

De acordo com Lôbo, Ferreira e Cruz (2009), o aspecto trata-se de uma análise preliminar, no qual busca verificar a presença de impurezas que possam ser identificadas visualmente, como sedimentos e materiais em suspensão, ou mesmo a turbidez na amostra, decorrente da presença de água. Ambos biocombustíveis produzidos foram classificados como límpidos e isentos de impurezas (LII), conforme apresentado na Figura 12.

**Figura 12** - Análise do aspecto das amostras de biodiesel de soja (a) e BSFL (b), respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.7 Cor

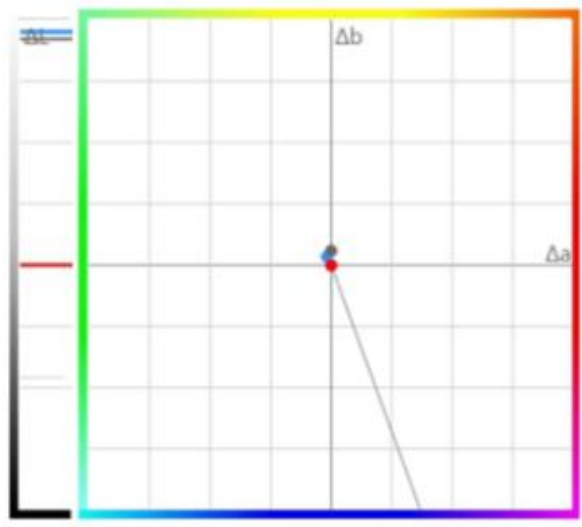
As análises de cor estão representadas na Tabela 1 e na Figura 13. A partir da análise dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , verificou-se que as amostras apresentaram diferença significativa, em termos de cor, para os 3 parâmetros avaliados, ao nível de significância de 5%, pelo teste Tukey. A amostra de biodiesel de BSFL apresentou um tom “alaranjado” mais intenso em comparação com a amostra de biodiesel de soja, podendo ser observado pelo maior valor de  $b^*$ , combinado com o pequeno aumento em  $a^*$ .

**Tabela 1** - Resultados médios das análises de cor das amostras de biodiesel expressa através dos parâmetros luminosidade ( $L^*$ ), coordenadas  $a^*$  (coordenada vermelho/verde) e  $b^*$  (coordenada amarelo/azul). Letras diferentes indicam que houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre os produtos, para cada parâmetro.

Amostra	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Biodiesel BSFL	$75,56 \pm 0,02^a$	$0,34 \pm 0,05^a$	$8,24 \pm 0,04^a$
Biodiesel soja	$77,31 \pm 0,02^b$	$-1,57 \pm 0,06^b$	$4,34 \pm 0,08^b$

Fonte: Autoria própria.

**Figura 13** - Espectro de comparação colorimétrica, sendo o ponto vermelho (padrão), ponto azul (biodiesel de soja) e o ponto cinza (biodiesel de BSFL).



Fonte: Autoria própria.

#### 4.8 pH e condutividade

O pH e a condutividade elétrica são considerados importantes parâmetros para controle e prevenção de problemas de corrosão no motor (De Barros *et al.*, 2020). Na tabela 2 é observado os resultados encontrados para tais parâmetros.

**Tabela 2** – Resultados obtidos nos ensaios de pH e condutividade.

<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>Condutividade (<math>\mu\text{S.cm}^{-1}</math>)</b>
Biodiesel BSFL	$7,39 \pm 0,34$	$8,7 \cdot 10^{-3} \pm 0,001$
Biodiesel soja	$6,97 \pm 0,40$	$1,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,003$

**Fonte:** Autoria própria.

Para o biodiesel a partir de óleos de BSFL, obteve-se um pH de  $7,39 \pm 0,34$  e um valor de  $6,97 \pm 0,40$  para o biodiesel de soja, as amostras não apresentaram diferença significativa ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey. Os valores encontrados estão próximos à neutralidade, proporcionando aos motores vida útil prolongada devido a não corrosividade.

A condutividade elétrica é um parâmetro que corresponde à habilidade de uma solução em conduzir corrente elétrica. Essa propriedade pode variar em relação à concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas, portanto, através desse parâmetro é possível avaliar a concentração dos íons presentes na amostra (De Barros *et al.*, 2020).

As amostras apresentaram diferença significativa ao nível de significância de 5%. Os valores obtidos referente à condutividade foram de  $8,7 \cdot 10^{-3} \pm 0,001 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para o biodiesel de BSFL, e  $1,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,003 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para o biodiesel de soja. Valores de baixa condutividade, não corroborando para a corrosão de materiais metálicos. A ANP (2023) não estabelece a especificação da condutividade elétrica para o biodiesel.

#### **4.9 Índice de acidez**

A Tabela 3 apresenta os resultados referente as respectivas análises de ácidos graxos livres e índice de acidez. A acidez do biodiesel é um parâmetro de grande importância para monitorar a sua qualidade durante o armazenamento. Alterações em seus resultados podem significar a presença de contaminantes como água (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009).

**Tabela 3** - Resultados obtidos de ácidos graxos livres e índice de acidez para as amostras de biodiesel e óleos utilizados.

<b>Amostra</b>	<b>%AGL</b>	<b>I.A. (mg KOH g<sup>-1</sup>)</b>
Óleo de soja	0,45	0,89
Óleo de BSFL	0,88	1,76
Biodiesel de soja	0,22	0,45
Biodiesel de BSFL	0,27	0,55

**Fonte:** Autoria própria.

A reação de transesterificação com catálise homogênea básica é o processo mais utilizado na produção de biodiesel e para que a reação apresente um bom rendimento, são necessários óleos refinados ou óleos que apresentem índice de acidez abaixo de 2 mg KOH.g<sup>-1</sup>, valores superiores podem resultar em reações secundárias e reduzir a conversão em ésteres (Knothe, 2006a). Nesse contexto, tanto o óleo de soja quanto o óleo de BSFL demonstraram valores satisfatórios e adequados para serem utilizados na produção de biodiesel.

O limite máximo estabelecido pela ANP (2023) referente ao índice de acidez em biodiesel é de 0,5 mg KOH.g<sup>-1</sup>. O biodiesel de soja apresentou valor que está de acordo com o limite estabelecido, e o biodiesel de BSFL, apresentou índice de acidez próximo ao estabelecido.

#### **4.10 Massa específica (20°C) e viscosidade cinemática (40°C)**

Os resultados de massa específica a 20°C e viscosidade cinemática a 40°C das amostras são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Massa específica (20°C) e viscosidade cinemática (40°C), em comparação com valores encontrados na literatura.

Parâmetros	Unid.	Biodiesel soja	Biodiesel soja (Rehman et al., 2018)	Biodiesel BSFL	Biodiesel BSFL (Antunes et al., 2017)
<b>Massa específica 20°C</b>	kg.m-3	881,3	880,5	874,1	874
<b>Viscosidade cinemática 40°C</b>	mm2.s-1	4,3	4,5	3,4	3,8

**Fonte:** Autoria própria.

A massa específica a 20 °C está estritamente relacionada à estrutura molecular dos compostos, sendo assim, quanto maior for o comprimento da cadeia carbônica do alquíéster, maior será o valor obtido. Impurezas como álcool residual presente na amostra também podem influenciar no resultado (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009).

A ANP (2023) estabelece que a massa específica deve estar entre 850 e 900 kg.m<sup>-3</sup>. De acordo com Visentainer e Santos Júnior (2013), valores fora da faixa estabelecida podem diminuir a eficiência da combustão, aumentar a emissão de poluentes, provocar perda de potência e aumento no consumo.

A ANP (2023) estabelece um intervalo de 3,0 a 6,0 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>. De acordo com Hanif *et al.* (2018), valores fora dos limites estabelecidos podem ocasionar perda da potência do motor.

Segundo Lôbo, Ferreira e Cruz (2009) biocombustíveis com alta viscosidade apresentam diminuição na eficiência na câmara de combustão, ocasionando a deposição de resíduos no interior do motor e, através da determinação da viscosidade cinemática a 40 °C, é possível monitorar indiretamente a presença de glicerídeos não reagidos e produtos da degradação oxidativa do biodiesel visto que estes contaminantes aumentam a viscosidade.

Os resultados obtidos referentes a massa específica a 20 °C e viscosidade cinemática a 40 °C estão dentro do limite estabelecido e próximos aos encontrados na

literatura, como por exemplo, Antunes *et al.* (2017), referente ao biodiesel de soja, e de acordo com Rehman *et al.* (2018) relativo ao biodiesel de BSFL.

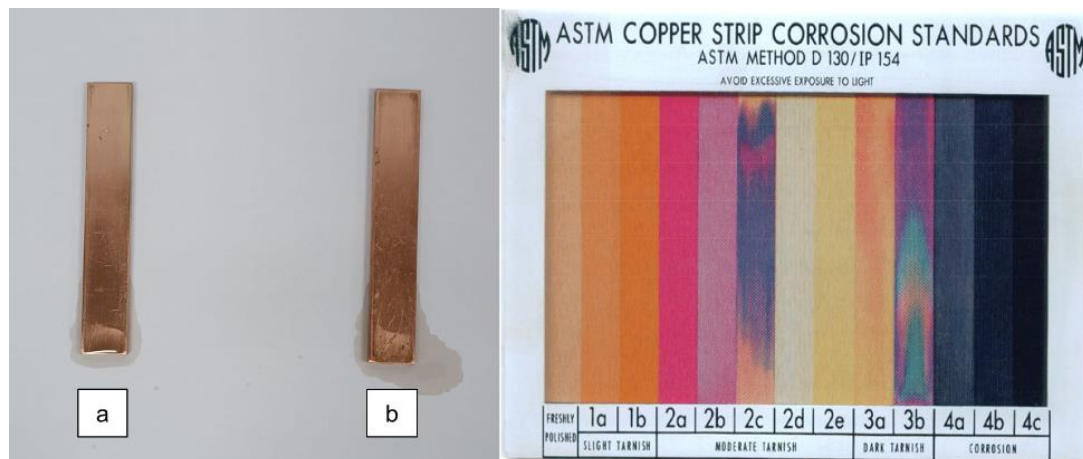
#### 4.11 Densidade relativa

A partir dos dados da massa específica a 20°C, utilizando a Equação 5, foi obtida a densidade relativa, a qual é uma forma de comparar uma amostra com outro padrão. Utilizando o resultado da massa específica do biodiesel de soja como amostra padrão em relação ao biodiesel de BSFL, foi obtido um resultado de 1,0, portanto, um não indicativo da presença de diferentes compostos na mistura, bem como as reações que ocorreram em relação às amostras.

#### 4.12 Corrosividade ao cobre

A Figura 14 apresenta os resultados obtidos na análise de corrosividade ao cobre para as amostras dos biocombustíveis a partir dos óleos extraídos de BSFL e a partir de óleo de soja. Este parâmetro determina a potencial capacidade corrosiva da amostra sob peças metálicas do motor ou do tanque de armazenamento, associando-se à presença de ácidos ou compostos de enxofre. Os valores máximos aceitáveis são grau 1 de corrosão (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009).

**Figura 14** - Tiras de cobre após análise de corrosividade, sendo (a) biodiesel de BSFL e (b) biodiesel de soja, e o conjunto de padrões de corrosão à lâmina de cobre da ASTM D130.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados encontrados estão de acordo com o limite estabelecido. As amostras obtiveram o resultado 1a, podendo ser classificadas como não corrosivas ao cobre, as quais favorecem a conservação das peças metálicas e de cobre.

#### 4.12 Ponto de névoa e ponto de fluidez

De acordo com Lôbo, Ferreira e Cruz (2009), o ponto de névoa (*cloud point* - CP) é a temperatura do combustível em que se observa a formação dos primeiros cristais. Já o ponto de fluidez (*pour point* - PP) é a temperatura em que o combustível perde a fluidez. Estes parâmetros são importantes para a avaliação da aplicabilidade em regiões de clima frio.

Se espera que biodiesel a partir de gordura animal apresente valores mais elevados que biodiesel de gordura vegetal, por conta de seu alto teor de ácidos graxos saturados (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009).

No entanto, é observado na Tabela 5 que a amostra de biodiesel de BSFL obteve resultados menos elevados, se comparado ao biodiesel de soja desenvolvido, e os valores obtidos por Park *et al.*, (2022). Tal diferença em relação ao encontrado por Park *et al.*, (2022), referente ao biodiesel de BSFL, possivelmente deve-se ao fato de as larvas apresentarem diferenças em seus perfis de ácidos graxos quando submetidas a diferentes substratos em sua alimentação (Rodrigues *et al.*, 2022).

**Tabela 5** - Parâmetros de ponto de névoa (°C) e ponto de fluidez (°C).

Parâmetros	Unid.	Biodiesel soja	Biodiesel soja (Park <i>et al.</i> , 2022)	Biodiesel BSFL	Biodiesel BSFL (Park <i>et al.</i> , 2022)
Ponto de névoa	°C	2	0	-2	2
Ponto de fluidez	°C	0	-4	-4	-1

Fonte: Autoria própria.



A ANP (2023) não estabelece valores referentes aos parâmetros de ponto de névoa e fluidez.

#### **4.13 Ponto de fulgor**

O ponto de fulgor é um parâmetro que apresenta a temperatura mínima em que se observa a liberação de vapores de um líquido, em quantidade suficiente para estabelecer uma mistura inflamável com o ar, portanto, é de suma importância à segurança no armazenamento e transporte do combustível (Visentainer; Santos Júnior, 2013).

Para o biodiesel puro, o valor encontra-se em torno de 170°C (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009). Este valor diminui caso haja a presença de álcool não reagido ou em excesso na reação de transesterificação. Portanto, esta análise pode ser executada a fim de avaliar a eficiência da purificação do biodiesel (Visentainer; Santos Júnior, 2013).

O ponto de fulgor das duas amostras apresentou ótimos resultados, indicando valores superiores a 160°C. De acordo com a ANP (2023), a temperatura mínima de ponto de fulgor é de 100°C, e a determinação do teor de metanol é dispensada no caso de valores de ponto de fulgor superiores a 130°C.

### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tanto o óleo de BSFL quanto o óleo de soja apresentaram índice de acidez inferiores a 2 mg KOH.g<sup>-1</sup>, valores adequados para serem utilizados na produção de biodiesel.

O rendimento percentual da conversão dos respectivos óleos em biocombustíveis, não apresentou diferença significativa, ao nível de significância de 5%, com 98,3 ± 1,15 % na produção de biodiesel de BSFL e 98,5 ± 0,5 % do biodiesel de soja.

A partir da análise dos parâmetros L\*, a\* e b\*, constatou-se que amostras apresentaram diferença significativa ao nível de significância de 5% em relação a cor e o aspecto das mesmas se enquadraram ao estabelecido pela ANP (2023), como sendo límpidas e isentas de impurezas (LII).

Os valores de pH obtidos estão próximos à neutralidade e não apresentaram diferença significativa ao nível de significância de 5%, com o biodiesel de BSFL apresentando  $7,39 \pm 0,34$  e o biodiesel de soja  $6,97 \pm 0,40$ . A condutividade das amostras apresentaram diferenças significativas ao nível de significância de 5%,  $8,7 \cdot 10^{-3} \pm 0,001 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para o biodiesel de BSFL e  $1,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,003 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para o biodiesel de soja, no entanto, são valores de baixa condutividade. Ambos os parâmetros obtiveram resultados que não corroboram para a corrosão de materiais metálicos.

Os valores encontrados estão dentro do limite estabelecido pela ANP (2023) e condizentes aos valores encontrados na literatura referente aos parâmetros massa específica a 20°C e viscosidade cinemática a 40°C. O biodiesel de BSFL apresentou massa específica a 20°C de  $874,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e viscosidade cinemática a 40°C de  $3,4 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ . O biodiesel de soja apresentou massa específica a 20°C de  $881,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e viscosidade cinemática a 40°C de  $4,3 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ . A ANP (2023) estabelece um limite entre o intervalo de 850 e 900  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  para massa específica a 20°C e um intervalo de 3,0 a 6,0  $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$  para viscosidade cinemática a 40°C.

Ambas as amostras de biocombustíveis estão de acordo com o limite estabelecido pela ANP (2023) referente à corrosividade ao cobre, obtendo o resultado 1a, sendo classificadas como não corrosivas ao cobre.

O biodiesel de soja apresentou índice de acidez de  $0,45 \text{ mg KOH}\cdot\text{g}^{-1}$  e o biodiesel de BSFL apresentou  $0,55 \text{ mg KOH}\cdot\text{g}^{-1}$ . A ANP (2023) estabelece como limite máximo de índice de acidez em biodiesel  $0,5 \text{ mg KOH}\cdot\text{g}^{-1}$ .

O biodiesel de BSFL obteve boa performance nos resultados de ponto de névoa e ponto de fluidez em comparação com o biodiesel de soja desenvolvido, e os valores obtidos por Park *et al.*, (2022). O ponto de fulgor de ambas as amostras obteve ótimos resultados de ponto de fulgor, indicando valores acima de 160°C. De acordo com a ANP (2023), a temperatura mínima de ponto de fulgor é de 100°C.

## **6 CONCLUSÃO**

A partir dos resultados encontrados, o biodiesel de BSFL não apresentou diferenças significativas em relação ao biodiesel de soja, o que sugere boa qualidade do óleo frente aos procedimentos utilizados, apresentando-se como uma excelente alternativa para obtenção do biocombustível, colocando as larvas de mosca soldado negro como uma fonte de energia sustentável, renovável, e uma alternativa ao tratamento de lixo orgânico resultante de alimentos descartados ou indesejados.

## REFERÊNCIAS

ABOAGYE, B.; GYAMFI, S.; OFOSU, E. A.; DJORDJEVIC, S. Status of renewable energy resources for electricity supply in Ghana. **Scientific African**, v. 11, p. e00660, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00660>.

AGUIEIRAS, E. C.; DE BARROS, D. S.; SOUSA, H.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.; FREIRE, D. M. Influence of the raw material on the final properties of biodiesel produced using lipase from *Rhizomucor miehei* grown on babassu cake as biocatalyst of esterification reactions. **Renewable Energy**, v. 113, p. 112–118, 2017.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 90, p. 356-369, 2018.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 920/2023. Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializem o produto em território nacional. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 66, p. 51, 05 mai. 2023.

ANTUNES, A. U. J.; SILVA, A. S. A.; CARVALHO, M. W. N. C.; DE OLIVEIRA PEREIRA, K. R. Armazenamento, estabilidade oxidativa e caracterização do biodiesel metílico de soja. **Scientia Plena**, v. 13, p. 1- 12, 2017.

ASHOKKUMAR, V.; SALAM, Z.; SATHISHKUMAR, P.; HADIBARATA, T.; YUSOFF, A. R. M.; ANI, F. N. Exploration of fast growing *Botryococcus sudeticus* for upstream and downstream process in sustainable biofuels production. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 162-167, 2015.

BEHERA, A. R.; DUTTA, K.; VERMA, P.; DAVEREY, A.; SAHOO, D. K. High lipid accumulating bacteria isolated from dairy effluent scum grown on dairy wastewater as

potential biodiesel feedstock. **Journal of environmental management**, v. 252, p. 109686, 2019.

BERRIOS, M.; MARTÍN, M. A.; CHICA, A. F.; MARTÍN, A. Purification of biodiesel from used cooking oils. **Applied energy**, v. 88, n. 11, p. 3625-3631, 2011.

BIASATO, I.; RENNA, M.; GAI, F.; DABBOU, S.; MENEGUZ, M.; PERONA, G.; GASCO, L. Partially defatted black soldier fly larvae meal inclusion in piglet diets: effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 10, p. 1-11, 2019.

BIODIESELBR. ProÁlcool - Programa Brasileira de Álcool. Disponível em: [PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool | BiodieselBR.com](https://www.biodieselbr.com). Acesso em: 25 set. 2023

BORGES, M. E.; DÍAZ, L. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2839-2849, 2012.

BP - BRITISH PETROLEUM. Statistical Review of World Energy 2021. Disponível em: [Statistical Review of World Energy | Energy economics | Home \(bp.com\)](https://www.bp.com/statistical-review). Acesso em: 24 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ Ato20042006/2005/Lei/L11097.htm?origin=instituiacao](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Atos20042006/2005/Lei/L11097.htm?origin=instituiacao). Acesso em: 29 set. 2023.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética. Resolução CNPE nº 3/2023. Altera a Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 61, p. 2, 28 mar. 2023.

CANESIN, E. A.; DE OLIVEIRA, C. C.; MATSUSHITA, M.; DIAS, L. F.; PEDRAO, M. R.; DE SOUZA, N. E. Characterization of residual oils for biodiesel production. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 17, n. 1, p. 39–45, 2014.

CARNEIRO, G. A.; SILVA, J. J. R.; DE ASSIS OLIVEIRA, G.; PIO, F. P. B. Uso de microalgas para produção de biodiesel. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 5, p. e1075181, 2018.

CARUSO, D.; DEVIC, E.; SUBAMIA, I. W.; TALAMOND, P.; BARAS, E. Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae. **IRD Edition, Marseille**, 2014.

CARVALHO, A. K. F.; BENTO, H. B.; RIVALDI, J. D.; DE CASTRO, H. F. Direct transesterification of *Mucor circinelloides* biomass for biodiesel production: effect of carbon sources on the accumulation of fungal lipids and biofuel properties. **Fuel**, v. 234, p. 789-796, 2018.

CHOPRA, J.; TIWARI, B. R.; DUBEY, B. K.; SEN, R. Environmental impact analysis of oleaginous yeast based biodiesel and bio-crude production by life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122349, 2020.

CHOZHAVENDHAN, S.; SINGH, M. V. P.; FRANSILA, B.; KUMAR, R. P.; DEVI, G. K. A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 1-2, p. 1-6, 2020.

CUNHA JR, A. FEDDERN, V.; MARINA, C.; HIGARASHI, M. M.; DE ABREU, P. G.; COLDEBELLA, A. Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes. **Fuel**, v. 105, p. 228-234, 2013.

DA SILVA, I. A. Hidrogênio: combustível do futuro. **Ensaio e Ciência: ciências biológicas, agrárias e da saúde**, v. 20, n. 2, p. 122-126, 2016.

DE BARROS, L. H. C.; DA PURIFICAÇÃO, M. C.; CAMPANHA, N.; DA HORA SILVA, T. F.; SANTOS, A. G. Biodiesel do óleo da semente de pinha produzido por reação via aquecimento e ultrassom. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 7, n. 1, p. 94-107, 2020

DEEBA, F.; PRUTHI, V.; NEGI, Y. S. Converting paper mill sludge into neutral lipids by oleaginous yeast *Cryptococcus vishniacii* for biodiesel production. **Bioresource technology**, v. 213, p. 96- 102, 2016.

DIENER, S.; STUDDT SOLANO, N. M.; ROA GUTIÉRREZ, F.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and Biomass Valorization**, v. 2, p. 357-363, 2011.

DOMINGUES, M. **A Soja no Contexto do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)**. São Paulo, SP: Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2016.

DORTMANS, B. M. A. *et al.* Black soldier fly biowaste processing-a step-by-step guide. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. **Dübendorf, Switzerland**, v. 100, 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. RenovaBio: Biocombustíveis 2030. Disponível em: ([Microsoft Word - NT01\\_RenovaBio\\_Papel\\_Biocombust\355veis.docx](#)) ([epe.gov.br](http://epe.gov.br)). Acesso em: 23 set. 2023.

FARIA, I. D.; PEIXOTO, M.; MORAIS, P. D; SOUZA, R. D. A utilização de óleo vegetal refinado como combustível-aspectos legais, técnicos, econômicos, ambientais e tributários. **Textos para Discussão**, v. 73, 2010.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

GERIS, R.; SANTOS, N. A. C. D.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. D. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M. Biodiesel de soja – Reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, n. 5, v. 30, 2007.

HANIF, M. A.; NISAR, S.; AKHTAR, M. N.; NISAR, N.; RASHID, N. Optimized production and advanced assessment of biodiesel: A review. **International Journal of Energy Research**, p. 1–14, 2018.

HARAHAP, F.; SILVEIRA, S.; KHATIWADA, D. Cost competitiveness of palm oil biodiesel production in Indonesia. **Energy**, v. 170, p. 62-72, 2019.

HOLMES, L. Role of Abiotic Factors on the Development and Life History of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). **Electronic Theses and Dissertations**. 285, 2010. Disponível em: <https://scholar.uwindsor.ca/etd/285>. Acesso em: 25 set. 2023.

IACONISI, V.; MARONO, S.; PARISI, G.; GASCO, L.; GENOVESE, L.; MARICCHIOLO, G.; PICCOLO, G. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality treats of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). **Aquaculture**, v. 476, p. 49-58, 2017.

IEA - Agência Internacional de Energia. Global energy investment in clean energy and in fossil fuels. Disponível em: [Global energy investment in clean energy and in fossil fuels, 2015-2023 – Charts – Data & Statistics - IEA](#). Acesso em: 20 set. 2023.

JALIL, N. A. A.; ABDULLAH, S. H.; AHMAD, I. K.; BASRI, N. E. A.; MOHAMED, Z. S. Decomposition of food waste from protein and carbohydrate sources by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. **Journal of Environmental Biology**, v. 42, p. 756-761, 2021.



KNOTHE, G. Analyzing biodiesel: Standards and other methods. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 83, n. 10, p. 823–833, 2006a.

KNOTHE, G.; VAN-GERPEN, J.; PEREIRA, L.; KRAHL, J. **Manual do Biodiesel**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006b.

KOH, M. Y.; GHAZI, T. I. M. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas L.* oil. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 5, p. 2240-2251, 2011.

KRAUSE, L. C. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal**. Tese de doutorado (Pós-graduação em química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2008.

KRENAK, A. **A vida não é útil**. São Paulo: Companhia das Letras, 2020.

LI, Q.; ZHENG, L.; CAI, H.; GARZA, E.; YU, Z.; ZHOU, S. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. **Fuel**, v. 90, n. 4, p. 1545-1548, 2011.

LI, W.; LI, Q., ZHENG, L., WANG, Y, ZHANG, J., YU, Z., & ZHANG, Y. Potential biodiesel and biogas production from corncob by anaerobic fermentation and black soldier fly. **Bioresource Technology**, v. 194, p. 276-282, 2015.

LIANE, L. M. R. **Estudo da atividade de catalisadores ácidos na produção de biodiesel via esterificação de ácido graxo com etanol**. 2023. 44 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Tecnológica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

LIN, C. Y.; LU, C. Development perspectives of promising lignocellulose feedstocks for production of advanced generation biofuels: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 136, p. 110445, 2021.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química nova**, v. 32, p. 1596-1608, 2009.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; SANCHEZ-MUROS, M. J.; BARROSO, F. G.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; ROJO, S.; PÉREZ-BAÑÓN, C. Insects for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3744-3753, 2012.

MENEGHETTI, S. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 63-73, 2013.

MEZA, C. G. **Transição energética global e desenvolvimento sustentável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo**. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MOHAN, K.; SATHISHKUMAR, P.; RAJAN, D. K.; RAJARAJESWARAN, J.; GANESAN, A. R. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as potential feedstock for the biodiesel production: Recent advances and challenges. **Science of The Total Environment**, v. 859, p. 160235, 2023.

NAKAGAKI, B. J.; DEFOLIART, G. R. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera, Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. **Journal of Economic Entomology**, v. 84, n. 3, p. 891–896, 1991.

NGUYEN, H. C.; LIANG, S. H.; DOAN, T. T.; SU, C. H.; YANG, P. C. Lipase-catalyzed synthesis of biodiesel from black soldier fly (*Hermetica illucens*): Optimization by using response surface methodology. **Energy Conversion and Management**, v. 145, p. 335-342, 2017.

OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030. Disponível em: [Resumen ejecutivo | OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030 | OECD iLibrary \(oecd-ilibrary.org\)](#). Acesso em: 1 out. 2023.

ONSONGO, V. O.; OSUGA, I. M.; GACHUIRI, C. K.; WACHIRA, A. M.; MIANO, D. M.; TANGA, C. M.; FIABOE, K. K. M. Insects for income generation through animal feed: effect of dietary replacement of soybean and fish meal with black soldier fly meal on broiler growth and economic performance. **Journal of economic entomology**, v. 111, n. 4, p. 1966-1973, 2018.

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

PARK, J.; JUNG, S.; NA, Y. G.; JEON, C. H.; CHEON, H. Y.; YUN, E. Y.; KIM, J. K. Biodiesel production from the black soldier fly larvae grown on food waste and its fuel property characterization as a potential transportation fuel. **Environmental Engineering Research**, v. 27, n. 3, 2022.

PEDROTI, P. M. Os desafios do desenvolvimento e da inclusão social: o caso do arranjo político-institucional do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. **Texto para Discussão**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), n. 1858, 2013.

PETRY, P. M. **Avaliação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB): avanços e desafios em onze anos de mistura compulsória**. 2020. Dissertação (Mestrado em Análise e Planejamento Energético) - Instituto de Energia e Ambiente, University of São Paulo, São Paulo, 2020.

PINTO, A. C.; GUARIEIRO, L. L.; REZENDE, M. J.; RIBEIRO, N. M.; TORRES, E. A.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. D. Biodiesel: An overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6b, p. 1313-1330, 2005.

REFAAT, A. A. Different techniques for the production of biodiesel from waste vegetable oil. **International Journal of Environmental Science & Technology**, v. 7, p. 183-213, 2010.

REHMAN, K. U.; LIU, X.; WANG, H.; ZHENG, L.; UR REHMAN, R.; CHENG, X.; YU, Z. Effects of black soldier fly biodiesel blended with diesel fuel on combustion, performance

and emission characteristics of diesel engine. **Energy Conversion and Management**, v. 173, p. 489-498, 2018.

RODRIGUES, D. P.; AMEIXA, O. M. C. C.; VÁZQUEZ, J. A.; CALADO, R. Improving the lipid profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*) Larvae for Marine Aquafeeds: Current state of knowledge. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6472, 2022.

ROY, A. S.; CHINGKHEIHUNBA, A.; PAKSHIRAJAN, K. An overview of production, properties, and uses of biodiesel from vegetable oil. **Green Energy and Technology**, p; 83-115, 2016.

SHEPPARD, D. C.; NEWTON, G. L.; THOMPSON, S. A.; SAVAGE, S. A value added manure management system using the black soldier fly. **Bioresource technology**, v. 50, n. 3, p. 275-279, 1994.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, n. 3, v. 38, 2008.

SOARES, I. P. CAPTAÇÃO ON-LINE EMBRAPA, 2020, São Paulo. **Biodiesel**. São Paulo: EMBRAPA, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/e-campo>. Acesso em: 26 mai. 2022.

STÅHLS, G.; MEIER, R.; SANDROCK, C.; HAUSER, M.; ŠAŠIĆ ZORIĆ, L.; LAIHO, E.; PARVIAINEN, T. The puzzling mitochondrial phylogeography of the black soldier fly (*Hermetia illucens*), the commercially most important insect protein species. **BMC Evolutionary Biology**, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2020.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, v. 30, p. 2068-2071, 2007.

SURENDRA, K. C.; OLIVIER, R.; TOMBERLIN, J. K.; JHA, R.; KHANAL, S. K. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. **Renewable energy**, v. 98, p. 197-202, 2016.

TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; DEHHAGHI, M.; PANAHI, H. K. S.; MOLLAHOSSEINI, A.; HOSSEINI, M.; SOUFIYAN, M. M. Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 74, p. 239– 303, 2019.

TOMBERLIN, J. K.; ADLER, P. H.; MYERS, H. M. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. **Environmental entomology**, v. 38, n. 3, p. 930-934, 2009.

TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. **Journal of Entomological Science**, v. 37, n. 4, p. 345-352, 2002.

TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C.; JOYCE, J. A. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 95, n. 3, p. 379-386, 2002.

VIDAL, M. F. Indústria: Biocombustíveis, Biodiesel e Etanol. **Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil**, ano 7, n. 248, 2022.

VISENTAINER, J. V.; SANTOS JÚNIOR, O. O. **Produção e Controle de Qualidade do Biodiesel de Óleos e Gorduras**. 21. ed. Maringá: Eduem, 2013.

YERGIN, D. **A busca: energia, segurança e reconstrução do mundo moderno**. 1ª edição, Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014.

YUSUF, N. N. A. N.; KAMARUDIN, S. K.; YAAKUB, Z. Overview on the current trends in biodiesel production. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 7, p. 2741–2751, 2011.

ZHENG, L.; LI, Q., ZHANG, J., & YU, Z. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. **Renewable energy**, v. 41, p. 75-79, 2012.