



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITORIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**PROCESSAMENTO DE ÓLEO DE VISCERAS DE TILÁPIAS PARA A OBTENÇÃO
DE BIOCOMBUSTÍVEIS**

DENNIS GUILLERMO DOLDÁN TROCHE

Foz do Iguaçu
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITORIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

PROCESSAMENTO DE ÓLEO DE VISCERAS DE TILÁPIAS PARA A OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

DENNIS GUILLERMO DOLDÁN TROCHE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr^a Andréia Cristina Furtado
Coorientação: Prof. Dr^a Caroline Da Costa Silva
Goncalves

Foz do Iguaçu
2022

DENNIS GUILLERMO DOLDÁN TROCHE

**PROCESSAMENTO DE ÓLEO DE VISCERAS DE TILÁPIAS PARA A OBTENÇÃO DE
BIOCOMBUSTÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dr^a Andréia Cristina Furtado
UNILA

Prof. Dr^a Caroline Da Costa Silva Goncalves
UNILA

Prof Dr Marcos Paulo Felizardo
(UNILA)

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Dennis Guillermo Doldán Troche

Curso: Engenharia Química

	Tipo de Documento
(..X..) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(..X..) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: _____

Nome do orientador(a): _____

Data da Defesa: ____ / ____ / ____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Quero começar agradecendo a Deus, por sempre dar a mim e toda a minha família muita saúde, também pela oportunidade de pertencer a esta família, que sempre me mostrou seu apoio incondicional.

À minha mãe Maria Concepción por me dar a oportunidade e o apoio necessário para consolidar uma nova etapa profissional.

As minhas Orientadoras Andreia Furtado e Coorientadora Caroline Da Costa Silva Goncalves, por me ajudar ao longo do processo de realização deste projeto e do curso, e por compartilhar comigo seus conhecimentos e experiências.

Ao professor Marcos Paulo Felizardo, por aceitar em ser parte da banca examinadora e poder concluir o curso.

Aos meus amigos da universidade, por me dar a suas amizades e carinho ao longo desses anos, pelo apoio incondicional e por me ajudarem a cumprir todas as minhas metas para a conclusão do curso, todos colegas de estudo.

Agradecido com à empresa Alquimia Pescados, da aquicultura familiar de Foz do Iguaçu, por me fornecer a matéria-prima para meu projeto.

RESUMO

Atualmente, uma das maiores preocupações mundiais é controlar a poluição do meio ambiente, promovida pela geração de grandes quantidades de poluentes promotores do efeito estufa, aliado à dependência do petróleo como um dos principais fatores energéticos causadores do alto percentual de poluentes geradores e emissões massivas de gases tóxicos. Com a necessidade de enfrentar a problemática, tem-se a premência de se encontrar fontes alternativas de energia verde. Considerando que as tilápias destacam-se com alta participação na aquicultura brasileira, com um alto crescimento de produção por ano, principalmente no estado do Paraná, e dado que é o segundo peixe mais produzido no mundo, o presente trabalho tem como objetivo utilizar óleo extraído de vísceras de tilápia para obtenção de biocombustível, pela rota de transesterificação etílica em catálise básica (KOH). Foram avaliadas três metodologias de extração, com diluição 1:1 (água: massa de vísceras), sem diluição, e aquecimento direto das vísceras. As caracterizações físico-químicas realizadas para os óleos brutos e refinados, indicaram que estes seguem os padrões de qualidade esperadas para óleos vindo de gorduras de animais. Os resultados apontam a viabilidade de produção de biodiesel a partir de óleo de vísceras de tilápias, conforme padrão definido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), com rendimento de 76,6%, densidade igual a 886,8 kg/m³, índice de acidez com valor 0,243 % em ácido oleico (0.484 mg KOH/g), ponto de nuvem com 14,9°C, o índice de refração próximo a 1,473 e viscosidade com 5,45; 6,60 e 7,01 mm²/s, respectivamente, para os óleos extraídos conforme as metodologias avaliadas.

Palavras-chave: vísceras; óleo; biocombustíveis; catalise básica; álcool etílico.

RESUMEN

En la actualidad, una de las mayores preocupaciones mundiales es el control de la contaminación ambiental, promovida por la generación de grandes cantidades de contaminantes que favorecen el efecto invernadero, en combinación a la dependencia del petróleo como uno de los principales factores energéticos causantes del alto porcentaje de contaminantes y emisiones masivas, de gases tóxicos. Con la necesidad de enfrentar el problema, existe una necesidad urgente de encontrar fuentes alternativas de energía verde. Teniendo en cuenta que la tilapia se destaca con una alta participación en la acuicultura brasileña, con un alto crecimiento en la producción por año, principalmente en el estado del Paraná, y dado que es el segundo pescado más producido en el mundo, el presente trabajo tiene como objetivo utilizar aceite extraído de vísceras de tilapia para la obtención de biocombustible, por la vía de la transesterificación etílica en catálisis básica (KOH). Se evaluaron tres metodologías de extracción, con dilución 1:1 (agua: masa de vísceras), sin dilución y calentamiento directo de las vísceras. Las caracterizaciones físico-químicas realizadas para los aceites crudos y refinados indicaron que siguen los estándares de calidad esperados para aceites provenientes de grasas animales. Los resultados apuntan a la factibilidad de producir biodiesel a partir del aceite de vísceras de tilapia, según la norma definida por la agencia nacional del petróleo (ANP), con rendimiento de 76,6%, densidad igual a 886,8 kg/m³, índice de acidez con valor de 0,243 % en ácido oleico (0,484 mg KOH/g), punto de turbidez con 14,9°C, índice de refracción cercano a 1,473 y viscosidad con 5,45; 6,60 y 7,01 mm²/s, respectivamente, para los aceites extraídos según las metodologías evaluadas.

Palabras clave: vísceras; aceite; biocombustible; catálisis básica; alcohol etílico.

ABSTRACT

Currently, one of the biggest global concerns is the control of environmental pollution, promoted by the generation of large amounts of pollutants that favor the greenhouse effect, in combination with the dependence on oil as one of the main energy factors causing the high percentage of pollutants and massive emissions of toxic gases. With the need to address the problem, there is an urgent need to find alternative sources of green energy. Taking into account that tilapia stands out with a high participation in Brazilian aquaculture, with a high growth in production per year, mainly in the state of Paraná, and since it is the second most produced fish in the world, the present work Its objective is to use oil extracted from tilapia viscera to obtain biofuel, by way of ethyl transesterification in basic catalysis (KOH). Three extraction methodologies were evaluated, with 1:1 dilution (water: mass of viscera), without dilution and direct heating of the viscera. The physical-chemical characterizations carried out for the crude and refined oils indicated that they follow the quality standards expected for oils from animal fats. The results point to the feasibility of producing biodiesel from tilapia viscera oil, according to the standard defined by the National Petroleum Agency (ANP), with a yield of 76.6%, density equal to 886.8 kg/m³, acidity index with a value of 0.243% in oleic acid (0.484 mg KOH/g), cloud point with 14.9°C, refractive index close to 1.473 and viscosity with 5.45; 6.60 and 7.01 mm²/s, respectively, for the oils extracted according to the methodologies evaluated.

Key words: viscera; oil; biofuel; base catalysis; ethyl alcohol.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Morfologia interna da Tilápia.....	19
Figura 2 - Fluxograma do processo convencional para a produção de óleo bruto....	20
Figura 3 - Fluxograma do processo de transesterificação	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Principais gases de efeitos estufa.....	14
Gráfico 2 - Crescimento mundial na emissão dos gases de efeito estufa	15
Gráfico 3 - Dados de produção da piscicultura brasileira por espécies no ano 2017 a 2020 (Quilogramas).....	17
Gráfico 4 - Emissões em ppm por mistura de biodiesel/diesel	27

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Vísceras in natura (A) e após serem trituradas (B)	28
Fotografia 2 - Produção de óleo sem diluição	29
Fotografia 3 - Produção de óleo com diluição 1:1 (massa homogênea : água)	30
Fotografia 4 - Produção de óleo com fogão doméstico	31
Fotografia 5 - Viscosímetro DV3T Extra Rheometer para a determinação da viscosidade	33
Fotografia 6 - Processo de titulação para determinação do AGL e IA	35
Fotografia 7 - Determinação do ponto de nuvem	36
Fotografia 8 - Calibração do refratômetro (A) e leitura da amostra (B).....	36
Fotografia 9 - Degomagem do óleo bruto	37
Fotografia 10 - Processo de neutralização do óleo bruto	38
Fotografia 11 - Neutralização do óleo tratado	39
Fotografia 12 - Desumidificação do óleo	40
Fotografia 13 - Sistema montado (A), Preaquecimento do óleo (B) e processo de transesterificação (C)	41
Fotografia 14 - Após do aquecimento (A), Adição de Glicerina P.A. (B), Separação de fases – Biodiesel e Glicerina (C) e (D)	42
Fotografia 15 - Lavagem do biodiesel.....	42
Fotografia 16 - Biodiesel lavado (A) e Biodiesel desumidificado (B).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais peixes produzidos na aquicultura mundial (milhares toneladas, peso vivo).....	16
Tabela 2 - Principais continentes e grupos de produção da aquicultura mundial (milhares de toneladas, peso vivo)	16
Tabela 3 - Composição do óleo de vísceras de tilápia.....	21
Tabela 4 - Parâmetros críticos de qualidades para o Biodiesel.....	25
Tabela 5 - Rendimento da extração do óleo com diluição em proporção 1:1 (Água: Óleo) – Coleta 1	46
Tabela 6: Rendimento da extração do óleo sem diluição com água – Coleta 2.....	46
Tabela 7 - Rendimento da extração do óleo com aquecimento em fogão a gás – Coleta 3	47
Tabela 8 - Parâmetros da porcentagem de perda de óleo pelo tratamento alcalino .	49
Tabela 9 - Resultados dos parâmetros físico-químico do óleo bruto e refinado extraído das vísceras de tilápias	50
Tabela 10 - Rendimento do biodiesel sem purificar.....	52
Tabela 11 - Rendimento do biodiesel no processo de transesterificação pela rota etílica.....	53
Tabela 12 - Caraterização do Biodiesel processado	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1	PROBLEMAS AMBIENTAIS NO MUNDO E AUMENTO DE EMISSÕES DE POLUENTES EM PAÍSES NÃO DESENVOLVIDOS	14
3.2	CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO PESQUEIRA DE TILÁPIA NO BRASIL.....	15
3.3	APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE TILÁPIAS	18
3.4	PRODUÇÃO DO ÓLEO DE VÍSCERAS DE TILÁPIA	19
3.4.1	Composição do óleo de vísceras de tilápia	21
3.5	SÍNTESE DO BIODIESEL	22
3.5.1	Aspectos gerais do emprego do biodiesel.....	26
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	SELEÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	28
4.2	EXTRAÇÃO DO ÓLEO DAS VÍSCERAS DE TILÁPIA.....	29
4.2.1	Extração de óleo sem diluição das vísceras com água	29
4.2.2	Extração do óleo com diluição em proporção 1:1 (Água/Vísceras).....	29
4.2.3	Extração de óleo com aquecimento direto com fogão a gás	30
4.3	CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO CRU, ÓLEO REFINADO E BIODIESEL.....	31
4.3.1	Rendimento do óleo bruto e do biodiesel	31
4.3.2	Densidade a 20°C	32
4.3.3	Viscosidade cinemática a 40° C	33
4.3.4	Determinação do teor de Ácidos graxos livres (AGL) do óleo	34
4.3.5	Determinação do Índice de Acidez (IA) do Biodiesel	34
4.3.6	Ponto de nuvem	35
4.3.7	Índice de refração.....	36
4.4	REFINAMENTO DO ÓLEO BRUTO.....	36
4.4.1	Filtração.....	37
4.4.2	Degomagem	37
4.4.3	Neutralização.....	37

4.4.4	Lavagem.....	39
4.4.5	Desumidificação	40
4.5	PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....	40
4.5.1	Cálculo da massa do óleo, álcool e catalisador para a transesterificação.....	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	ANALISE DAS VÍSCERAS DE TILÁPIAS COLETADAS	45
5.2	PRODUÇÃO DO ÓLEO BRUTO E REFINAMENTO.....	45
5.3	CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO E DO ÓLEO REFINADO	50
5.4	PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....	52
5.5	CARATERIZAÇÃO DO BIODIESEL OBTIDO.....	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICES.....	62
	APÊNDICE A – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE ÓLEO BRUTO	63
	APÊNDICE B – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL – CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO, REFINADO E BIODIESEL.....	64
	APÊNDICE C – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL - NEUTRALIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO	66
	APÊNDICE D – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL - PRODUÇÃO DE BIODIESEL	67

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é hoje uma preocupação mundial e a dependência do petróleo, um recurso não renovável, como uma das principais fontes de energia, tem como consequência a geração de poluentes e a emissão massiva de gases de efeito estufa. Com a necessidade de mitigar os problemas causados pela contaminação do meio ambiente, tem-se a premência de encontrar fonte alternativas de energia limpa (CASTRO, 2012). Uma das novas alternativas que se propõe é a produção de biodiesel utilizando como fonte de matéria-prima o óleo extraído das vísceras de tilápia.

Segundo Silva (2009), as vísceras representam em média 12,43% do peso do peixe vivo, dependendo da sua dieta e de seu tamanho, sendo observado uma diminuição da porcentagem deste material com o aumento do peso. No entanto o aproveitamento dos resíduos vindo dos processamentos de peixe de tilápia em abatedouro é fonte principal da matéria-prima.

As vísceras contêm em sua composição uma alta porcentagem de ácidos graxos de cadeia longa poli-insaturados, ricos em ômega-3 e triglicerídeos. Elas podem ser utilizadas para a produção de alimentos humanos e animais dado seu alto valor nutricional, e também para a obtenção de óleo para a produção de biocombustível (FELTES, 2010).

O estudo realizado na Universidade Federal de Lavras, Brasil, demonstrou que o óleo processado a partir de vísceras de peixe apresentou maior rendimento na produção de biodiesel, em comparação com outros resíduos (cabeça, pele e vísceras) (CARVALHO, 2016).

O processo de transesterificação é um dos mais utilizados na síntese do biodiesel. Constitui em uma reação química do óleo com um álcool (metanol ou etanol, preferencialmente), na presença de um catalisador (NaOH ou KOH) (CARVALHO, 2016).

Assim, no âmbito acadêmico, lembrando que o interesse está em conhecer sobre os tópicos do processamento de energia verde, além de revisar as rotas de processo para a produção do biodiesel e abarcar os principais estudos nesse assunto fornecendo novas alternativas e informações de interesse do estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho a ser realizado tem como objetivo estudar a viabilidade da utilização do óleo das vísceras de tilápias na produção de biodiesel.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Analisar a composição da matéria-prima a ser processada.
- * Avaliar as metodologias para extração de óleo de vísceras de tilápias.
- * Caracterizar o óleo extraído de vísceras de peixes.
- * Processar o óleo por transesterificação para obter biocombustível.
- * Caracterizar o biodiesel.

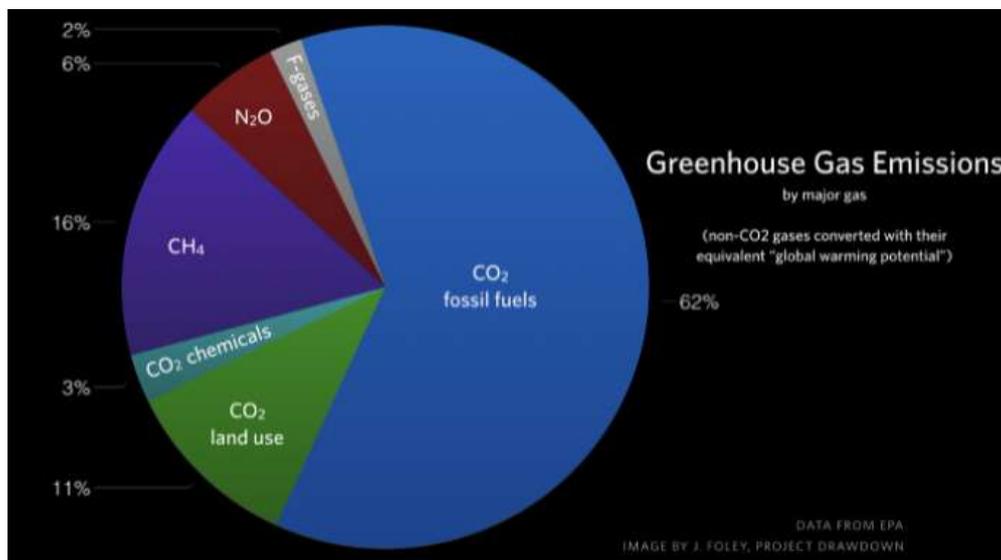
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão discutidos alguns dos principais problemas ambientais no mundo e o aumento das emissões de poluentes em países não desenvolvidos, o crescimento da produção pesqueira no Brasil, aproveitamento dos resíduos no processamento de tilápias, processo de produção de óleo de vísceras de tilápias e a síntese do biodiesel.

3.1 PROBLEMAS AMBIENTAIS NO MUNDO E AUMENTO DE EMISSÕES DE POLUENTES EM PAISES NÃO DESENVOLVIDOS

Em todo o mundo, o problema da poluição ambiental vem aumentando significativamente e consolidando-se em uma das maiores problemáticas pela qual o planeta vem passando para assegurar a qualidade de vida de seus habitantes. Os gases de efeitos estufa (GEE) (CO_2 , CH_4 , NO_2 e O_3) são os principais poluentes emitidos pelos efeitos das atividades humanas, resultante da utilização de combustíveis fósseis, como o petróleo, contribuindo diretamente para o aquecimento global (BALLESTEROS, 2007). No Gráfico 1 são observados os principais gases de efeito estufa, sendo o dióxido de carbono (CO_2) o produto principal da queima de combustíveis fósseis, e responsável por 76% das emissões de GEE a cada ano, desse total, 62% provem da queima de combustíveis fósseis, tais como o petróleo, carvão e gás natural (FOLEY, 2020).

Gráfico 1 - Principais gases de efeitos estufa

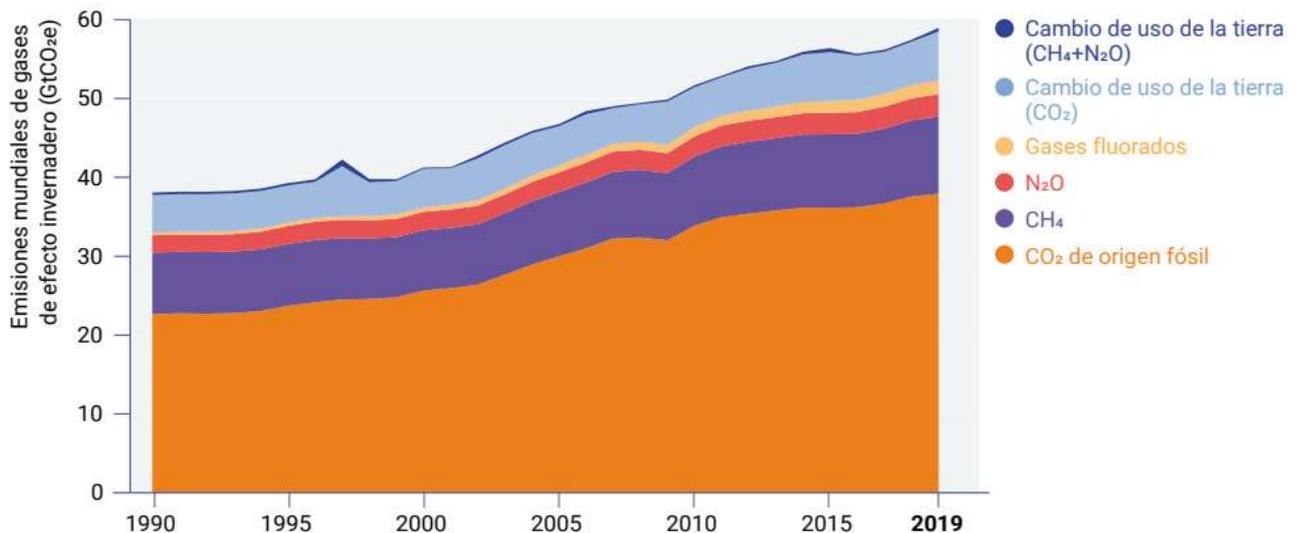


Fonte: FOLEY (2020).

O documento “Informe sobre la brecha em las emisiones del 2020” (ONU, 2020), indica que as emissões globais dos gases de efeito estufa estão desacelerando nas grandes potências econômicas da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), contudo, continuam a crescer nos países que não pertencem a ela.

Apesar da maior eficiência energética e da disseminação de fontes de energias renováveis e não poluentes, as emissões continuam a aumentar em países cujo consumo de energia se intensificou acentuadamente para atender às suas necessidades de desenvolvimento. O Gráfico 2 contempla o crescimento das emissões globais de gases do efeito estufa, no período de 1990 a 2019. Os dados indicam que em 2019 houve um crescimento recorde em relação ao período anterior (ONU, 2020).

Gráfico 2 - Crescimento mundial na emissão dos gases de efeito estufa



Fonte: ONU (2020).

3.2 CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO PESQUEIRA DE TILÁPIA NO BRASIL

A Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é nativa do Rio Nilo na África. É a segunda espécie mais cultivada no mundo depois da Carpa (*Cyprinus carpio*), como pode-se observar na Tabela 1 (MILANEZ, 2019). Dentre as principais características da tilápia, destaca-se: a sua capacidade de reprodução durante todo o ano, rápido crescimento e adaptabilidade a altas densidades, fácil manejo para a produção em grandes quantidades, resistência a enfermidades, além de aceitar alimentos concentrados para sua nutrição (TORRES, 2022).

Tabela 1 - Principais peixes produzidos na aquicultura mundial (milhares toneladas, peso vivo)

Espécies	2010	2012	2014	2016	% do Total
Diferentes tipos de Carpas	20.796	22.643	25.132	27.263	51
Tilápias	3.165	4.136	4.840	5.377	10
Outros peixes ósseos de água doce	1.378	1.942	2.063	2.362	4
Salmão do atlântico	1.437	2.074	2.348	2.248	4
Peixe-panga	1.307	1.575	1.616	1.741	3

Fonte: Adaptado do MILANEZ, 2019, p. 9

Segundo dados coletados pelo “Anuário de peixes BR de Piscicultura de 2018” (PEIXE BR, 2018), no ano de 2016 foram produzidas cerca de 5,4 milhões de toneladas no mundo, o que representa em torno de 10% da produção mundial. A Ásia é responsável por 89,4% da produção mundial de todas as espécies comestíveis de peixe, representando a China com 61,5% o qual também é um dos principais reprodutores de tilápia aproximadamente 32% da produção mundial, seguida da Indonésia com 10% (Tabela 2,) (MILANEZ, 2019).

Tabela 2 - Principais continentes e grupos de produção da aquicultura mundial (milhares de toneladas, peso vivo)

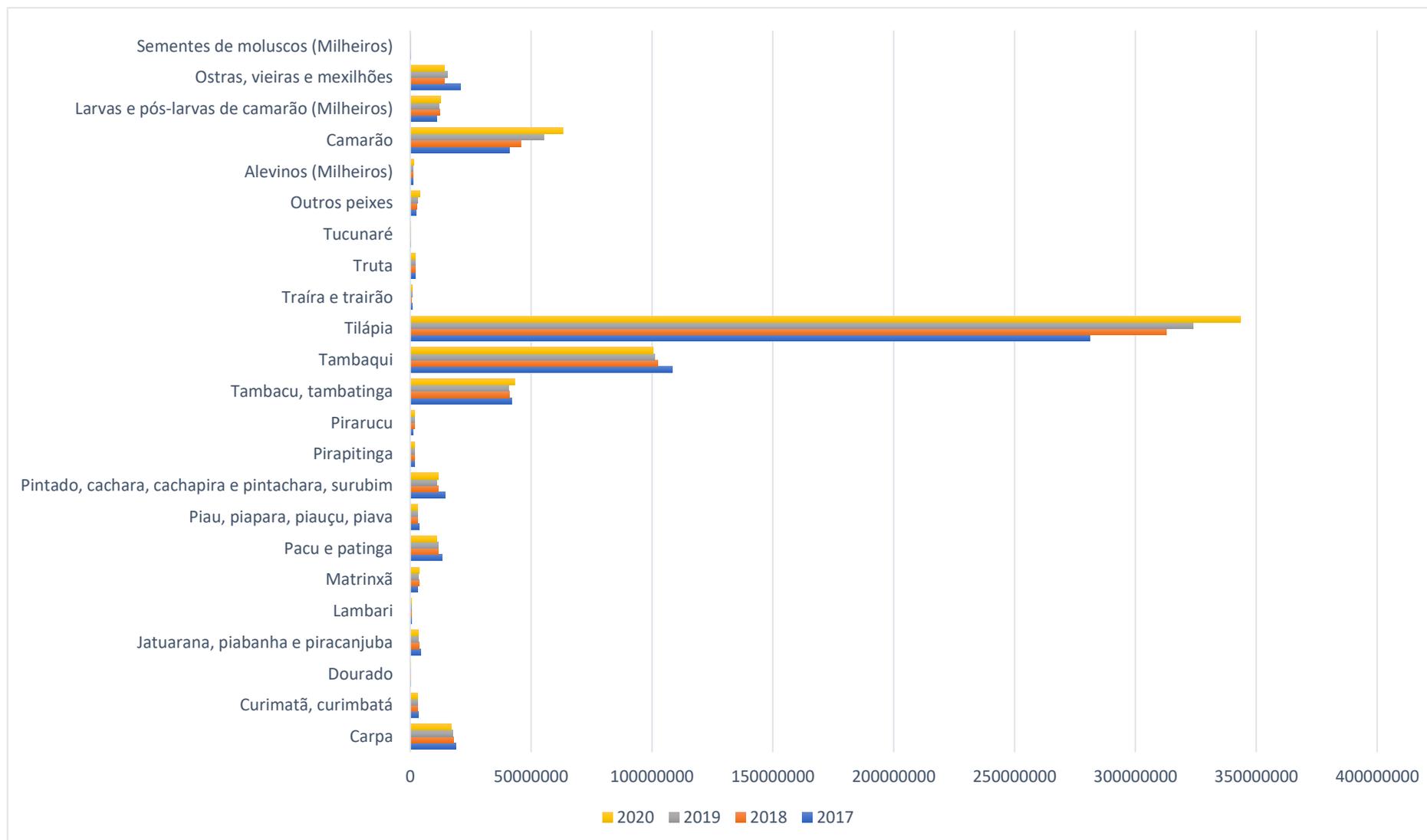
Grupo de espécies	África	América	Ásia	Europa	Oceania	Mundo
Peixes	1,972	1,978	47,722	2,332	87	54,091
Crustáceos	5	765	7,055	0	7	7,862
Moluscos	6	574	15,835	613	112	17,139
Outros animais aquáticos	0	1	993	0	5	939

Fonte: Adaptado do MILANEZ, 2019, p. 7

No Brasil, a produção cresceu 82% entre 2017 e 2020, representando um crescimento anual de 6% (IBGE, 2020), e se intensificou nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, principalmente no estado do Paraná (KUBITZA, 2018). Devido à demanda do mercado nacional, que apesar de seu alto crescimento representa uma parcela muito pequena para exportação, no ano de 2018, das 283.249 toneladas de tilápia produzidas, apenas 1,6% foram exportadas (PEDROZA, 2020).

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano 2020, apresentados no Gráfico 3, mostram a produção de diferentes espécies da piscicultura brasileira entre os anos de 2017 e 2020 no país. A tilápia representa 53% da produção, seguida pelo tambaqui com 16% e (IBGE, 2020).

Gráfico 3 - Dados de produção da piscicultura brasileira por espécies no ano 2017 a 2020 (Quilogramas)



Fonte: Material adaptado da IBGE, 2020.

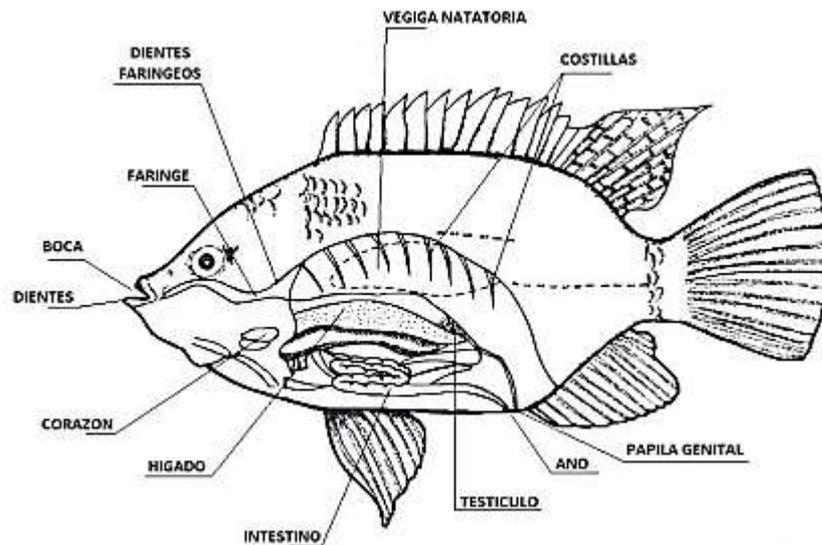
3.3 APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE TILÁPIAS

No Brasil a piscicultura vem se destacando como alternativa de alimento e com isso a produção vem aumentando. Estima-se que para 2025 a aquicultura no país deve registrar um crescimento de cerca de 104%, ocasionado pelo aumento de investimentos feitos no setor nos últimos anos (FAO, 2016). Com isso, a quantidade de processamento de tilápias vai sofrer um aumento e, desta forma ter-se-á uma maior geração de resíduos (vísceras de tilápias) com um impacto ambiental direto, pois a taxa de geração desses subprodutos é muito maior que a sua taxa de degradação (MACIEL, 2012).

Os resíduos da indústria de peixe apresentam composições ricas em compostos orgânico e inorgânicos, o que gera uma preocupação com os potenciais impactos ambientais que podem ocasionar, decorrentes da disposição deste material diretamente no meio ambiente. Alternativamente, esses resíduos podem ser reaproveitados para a produção de materiais de interesse econômico, salientando a importância do conhecimento das características físico-químicas do resíduo e seu estudo para estimar novas alternativas para seu processamento (FELTES, 2010).

A Figura 1 mostra a morfologia interna da tilápia, segundo Pérez (2013), o seu intestino mede 7 vezes o comprimento total do corpo e, apresenta duas glândulas muito importantes: o fígado, que é um órgão com características grande em tamanho e formato alongado, e a vesícula biliar, que é pequena e redonda de cor esverdeada. A vesícula se comunica com o intestino por meio de um pequeno e minúsculo tubo, que é chamado de ducto biliar e possui alto teor de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa o que enriquece seu alto valor energético das vísceras (FELTES, 2010).

Figura 1 - Morfologia interna da Tilápia



Fonte: Material coletado de PÉREZ, 2015.

Diversos autores propõem alternativas tecnológicas para os aproveitamentos dos resíduos de peixes (FELTES, 2010; MACIEL, 2012). Os resíduos sólidos podem ser destinados para a produção de ensilagem e farinha para o consumo de animais e humano, a produção de tintas, vernizes, suplementos alimentares e produção de óleo para posterior processamento a biodiesel, entre outros.

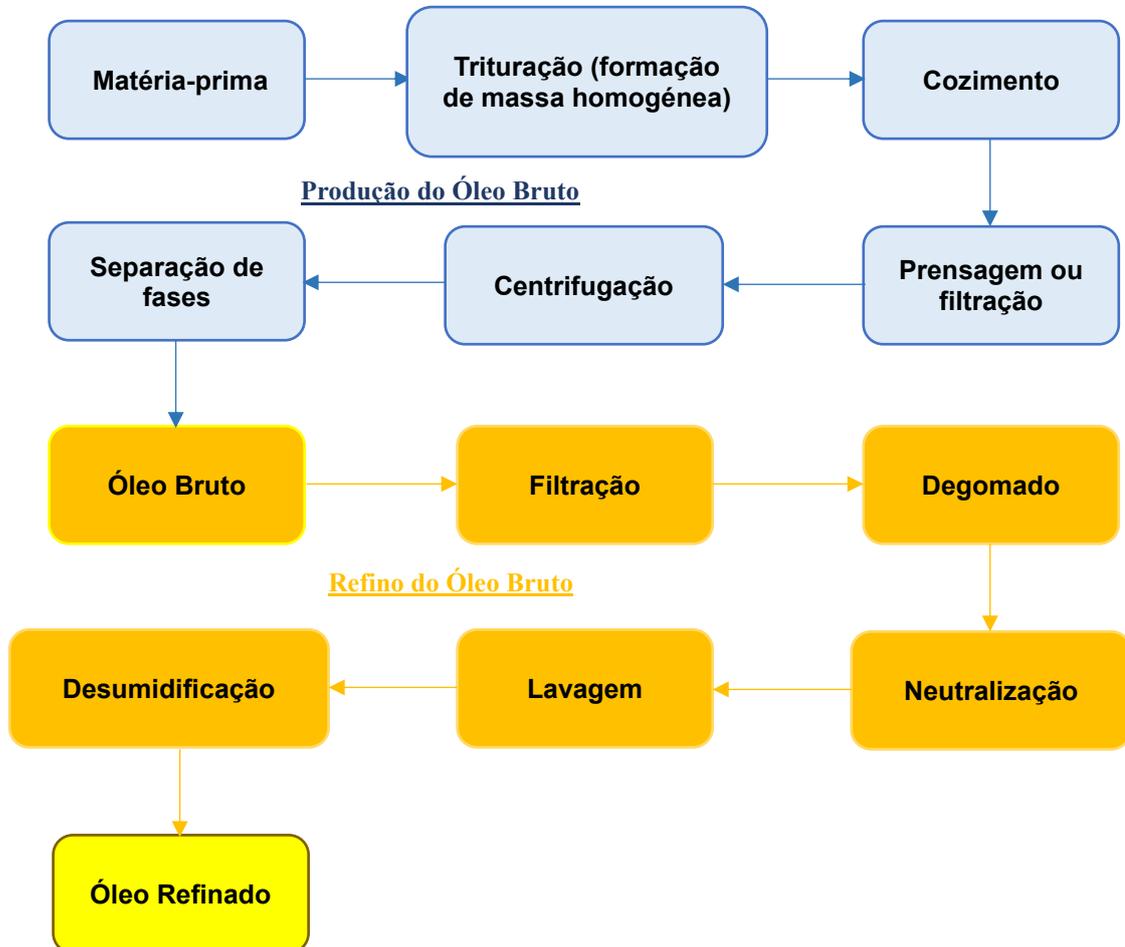
Carvalho (2016), avaliou o potencial dos óleos extraídos dos resíduos da filetagem de tilápia (óleo da cabeça, carcaças e vísceras) para a produção de biodiesel, a fim de selecionar aquele com maior potencial. Os resultados mostraram que o uso das vísceras como matéria-prima foi o que apresentou maior rendimento na produção de óleo refinado e, portanto, esse subproduto é o mais adequado para a produção de biodiesel.

3.4 PRODUÇÃO DO ÓLEO DE VÍSCERAS DE TILÁPIA

O processo industrial para a obtenção de óleo de vísceras envolve a etapa de digestão e tratamento térmico dos resíduos não aproveitáveis no processamento de tilápia (vísceras de tilápia), que consiste na trituração das vísceras para a formação de uma massa homogênea, seguida do aquecimento para liberar a água e o óleo (Figura 2). Posteriormente, o material é prensado e/ou filtrado com a finalidade de remover a porção líquida da massa em estudo, a qual é submetida a centrifugação ou deixada em decantação para a separação de fases. A porção líquida é conhecida como licor, ela é composta de

sólidos solúveis e óleo bruto. A porção sólida, conhecida como torta de prensagem (ou torta de filtração), é composta de sólidos úmidos (FELTES, 2010; CARVALHO, 2016).

Figura 2 - Fluxograma do processo convencional para a produção de óleo bruto



Fonte: Material adaptado do CARVALHO (2016) e MOTA (2019).

Na etapa de degomagem são eliminados do óleo bruto os fosfolipídios hidratados e não hidratados, também proteínas e substâncias coloidais, íons metálicos e sabões, mediante subprodutos fosfatídios formados. Esta etapa visa facilitar o armazenamento e transporte do óleo bruto, além de contribuir na etapa subsequente da neutralização, evitando o consumo excessivo do alcalino a ser utilizado (CARVALHO, 2016; MENEGAZZO, 2012).

O óleo bruto é então submetido ao processo de refino químico ou alcalino (Figura 2). Nesta etapa o óleo é tratado com soluções preparadas em diferentes graus de Baumé de um composto alcalino, geralmente NaOH, KOH, NaHCO₃, ou Na₂CO₃, com o objetivo de reduzir a acidez do óleo e neutralizar os ácidos graxos livres indesejáveis. A concentração e quantidade da solução alcalina para o refino é baseada no conteúdo de

ácidos graxos livres do óleo bruto vindo do processo de degomado (CONTRERAS, 2006; CARVALHO, 2016; MENEGAZZO, 2012).

A lavagem é feita para a remoção de sabões formados no processo de neutralização. Geralmente é realizado por centrifugação, pois, proporciona um óleo de peixe com melhores condições físico-químicas (CARVALHO, 2016).

Por fim, a desumidificação pode ser realizada em estufa a vácuo e tem por objetivo diminuir a porcentagem de água adicionada na etapa da lavagem e favorecer o processo de produção de biodiesel (MOTA, 2019; CARVALHO, 2016).

3.4.1 Composição do óleo de vísceras de tilápia

O óleo de peixe é composto de uma variedade de ácidos graxos (saturados, mono e poli-insaturados) e alto teor de vitaminas, em especial a vitamina A (FELTES, 2010).

Em seus trabalhos Carvalho (2016) e Mota (2014), relataram que os óleos de peixes vindos de ambientes aquáticos diferentes (água doce e salgada) apresentam uma diferença na composição de ácidos graxos. De acordo com os autores, os peixes de água salgada apresentam uma composição complexa, e uma grande proporção de ácido oleico, nonadecanoico, eicosanoico entre outros. Os peixes da água doce, entretanto, apresentam menores teores de eicosanoico e behênico insaturados e maiores teores de ácido palmítico e de ácido oleico insaturado. As tilápias, geralmente contém baixas proporções de ácido graxo poli-insaturados n-3, em relação a peixes de água salgada e proporções elevadas de ácidos graxos saturados, mono e di-insaturado (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição do óleo de vísceras de tilápia

Ácidos graxos	Percentual (%)
Dodecanóico (C10:0)	0,11
Mirístico (C14:0)	4,74
Pentadecanóico (C15:0)	0,81
Palmítico (C16:0)	33,19
Palmitoléico (C16:1)	9,94
Margárico (C17:0)	0,56
Esteárico (C18:0)	5,60

Oleico (C18:1)	28,60
Linoléico (C18:2)	16,30
Linolênico (C18:3)	3,10
Octadecatetranóico (C18:4)	1,50
Araquídico (C20:0)	1,30
Cis-11-Ecosenóico (C20:1)	1,60
Ecosapentanóico (C20:5)	< 0,01
Docosahexanóico (C22:6)	< 0,01

Fonte: Material adaptado de MOTA, 2014.

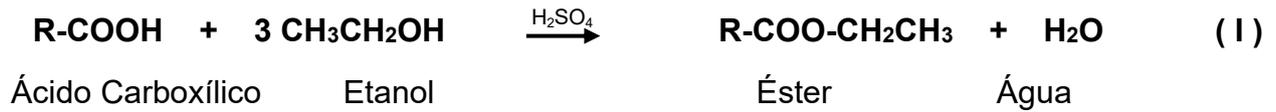
3.5 SÍNTESE DO BIODIESEL

O biodiesel é constituído por ésteres mono-alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa, provenientes de lipídios como óleos vegetais ou gorduras animais, e que podem ser utilizados em motores de ignição por compressão (CARVALHO, 2016). O biodiesel apresenta propriedades muito similares ao diesel, no que se refere a sua densidade, número de cetanos e eficiência, tendo ainda um ponto de fulgor superior ao diesel de origem fóssil (TEJADA, 2013; PALERMO, 2008).

Conforme Carvalho (2016) e Martinez (2019) destacaram, o biodiesel pode ser obtido por diferentes técnicas: processamento termoquímico mediante pirólise, por esterificação ácida e o processamento mais convencional, por transesterificação alcalina.

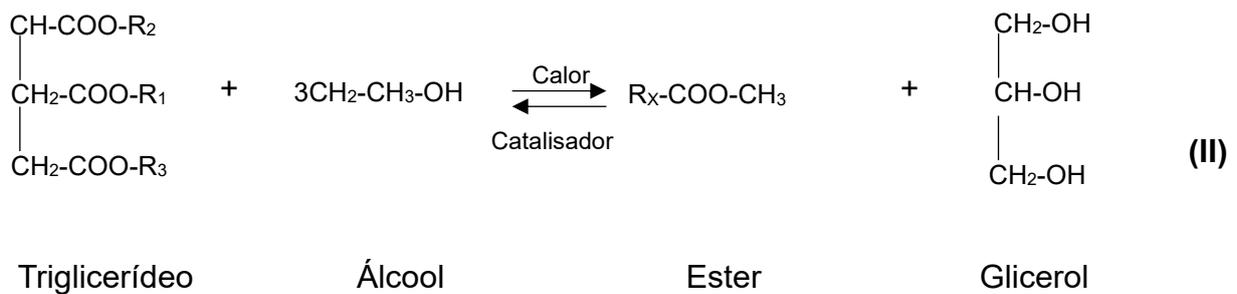
A pirólise é um processo termoquímico realizado em temperaturas elevadas na ausência de oxigênio, que converte a matéria orgânica em biocombustíveis essenciais com alto rendimento (PINEDO, 2013).

A esterificação ácida, por sua vez, é um processo geralmente empregado para a conversão de óleo e gorduras animais principalmente, com teor de “ácidos graxos livres maior a 2%”, como é o caso das vísceras de tilápia. Esse processo ocorre na presença de álcool, preferencialmente metanol ou etanol e catalisador ácido (ácido sulfúrico, normalmente) a agitação constante e posterior decantação (CARVALHO, 2016; MARTINEZ, 2019). A reação química da esterificação ácida é a seguinte:

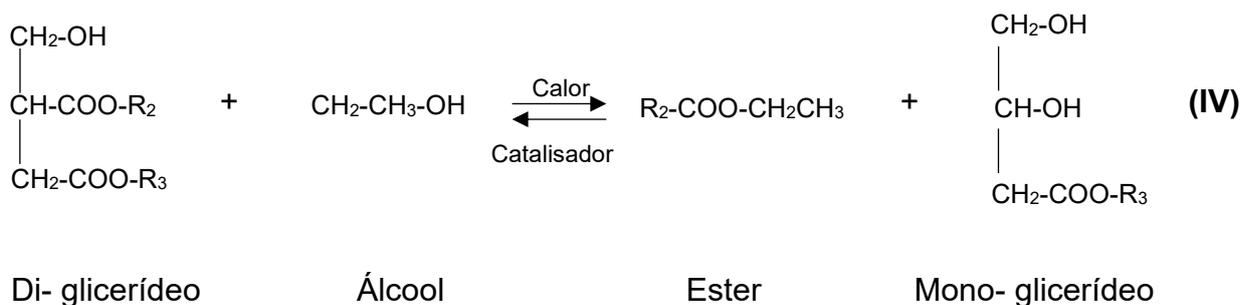
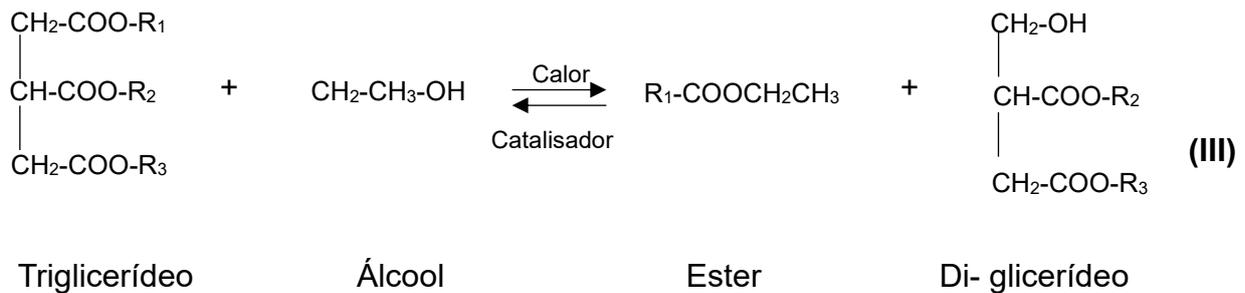


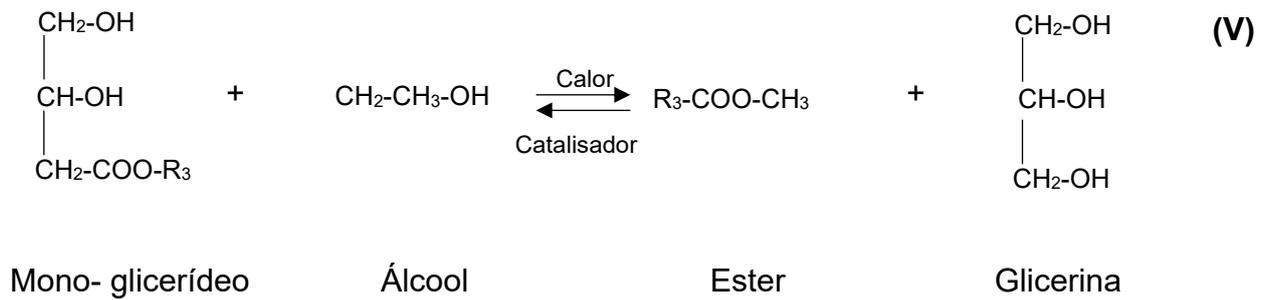
A transesterificação alcalina é o processo mais utilizado nas indústrias para a produção de biodiesel. A reação de transesterificação é realizada com um excesso de álcool, geralmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador básico (NaOH ou KOH). Além do baixo custo dos catalisadores empregados, o processo pode alcançar até 99,9% de conversão do triglicerídeo a ésteres em um tempo menor em comparação com a esterificação ácida (GUERRERO, 2013; MARTINEZ, 2019). A reação química da transesterificação alcalina (equação II) ocorre por um mecanismo em três etapas consecutivas, conforme equações III, IV e V.

Reação global



Reações Intermedias

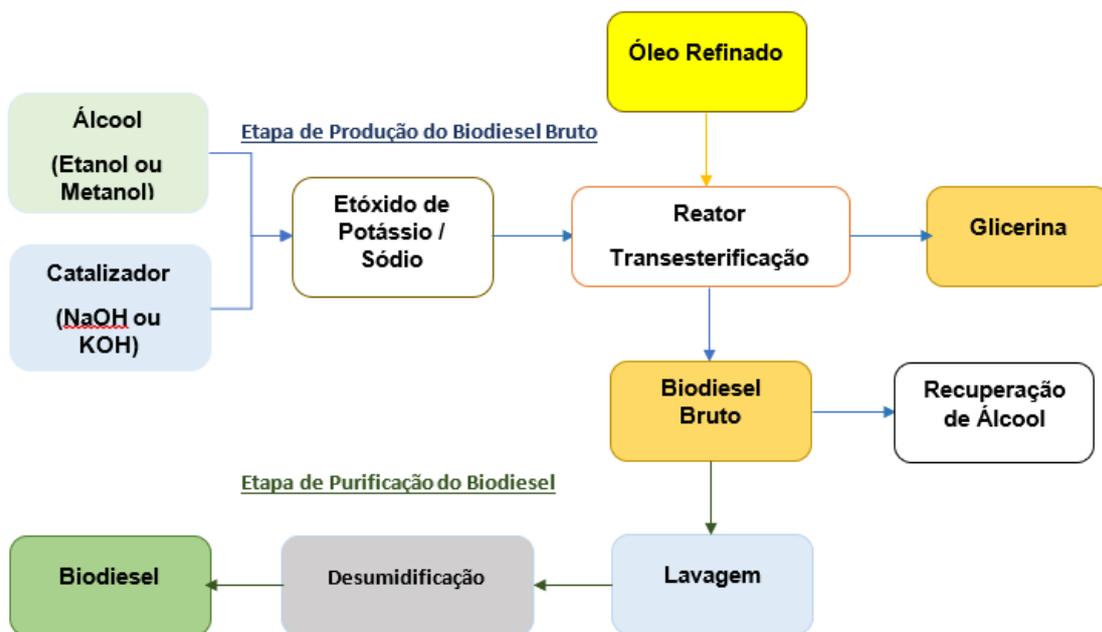




A reação de transesterificação é extremamente sensível a variações de temperatura, como também à concentração do catalisador e tipo de álcool, além da relação molar álcool: óleo empregada (GUERRERO, 2013). Para o metanol, a razão molar utilizada é 6:1 (álcool: óleo), enquanto para o etanol a razão molar é de 9:1 a 12:1 (álcool: óleo) (LÔBO, 2009).

O fluxograma do processo de transesterificação é apresentado na Figura 3. Nesse processo, o óleo entra no reator e é combinado com a mistura de álcool e catalisador (etóxido de sódio ou de potássio). Após a reação, é feita a separação das duas fases, o etil-ester (biodiesel) e a glicerina. A etapa de purificação do biodiesel consiste na lavagem para a remoção do excesso de álcool e catalisador e a desumidificação, a fim de se evitar a hidrólise do triglicerídeo e a geração de acidez da mesma (GAIO, 2019).

Figura 3 - Fluxograma do processo de transesterificação



O biodiesel deve atender a algumas especificações de qualidades emitidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), da ABNT-NBR, ASTM e pela União Europeia (EN) para que possa ser empregado como combustível (Tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros críticos de qualidades para o Biodiesel

Características	Unidade	Limites		Método		
		Mín.	Máx.	ABNT NBR	ASTM D	EN/ISS O
Densidade 20°C	kg/m ³	850	900	7148	1298	3675
				14065	4052	12185
Viscosidade cinemática 40°C	mm ² /s	3,0	6,0	10441	445	3104
Teor de água	mg/kg	=	200	=	6304	12937
Contaminação total	mg/kg	=	24	15995	=	12662
Ponto de fulgor	°C	100	=	14598	93	3679
Ponto de neblina	°C	Info*	=	=	2500	=
Teor de éster	%massa	96,5	=	15764	=	14103
Cinzas sulfatadas	%massa	=	0,02	6294	874	3987
Enxofre total	mg/kg	=	10	15867	5453	20846
						20884
Sódio + Potássio	mg/kg	=	5	15553		14108
				15554	=	14109
				15555		14538
				15556		
Calcio + Magnésio	mg/kg	=	5	15553	=	14538
				15556		
Fosforo	mg/kg	=	10	15553	4951	14107
						16294
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C	=	=	1	14359	130	2160

Número de cetano	=	Info*	=	=	613	5165
					6890	
Índice de acidez	mg KOH/g	=	0,5	14448	664	14104
Glicerol livre	%massa	=	0,2	15771 15908	6584	14105 14106
Glicerol total	%massa	=	0,25	15344 15908	6584	14105
Conteúdo de Monoglicerídeo	%massa	=	0,7	15342 15344 15908	6584	14105
Conteúdo de Diglicerídeo	%massa	=	0,2	15342 15344 15908	6584	14105
Conteúdo de Triglicerídeo	%massa	=	0,2	15342 15344 15908	6584	14105
Metanol e/ou Etanol	%massa	=	0,2	15343	=	14110
Índice de iodo	g/100g	=	Info*	=	=	14111
Estabilidade a oxidação a 110°C	Hora	6	=	=	=	14112 15751

Fonte: Material adaptado do CARDOSO (2017). Pág. 24.

Nota: Dados com valores Info*(é informar).

3.5.1 Aspectos gerais do emprego do biodiesel

O uso do biodiesel apresenta vantagens sobre o diesel do petróleo. O biocombustível é considerado como energia verde, proveniente de fontes renováveis e não é tóxico, além de apresentar com a melhor qualidade das emissões durante o processo de combustão (HASAN, 2017).

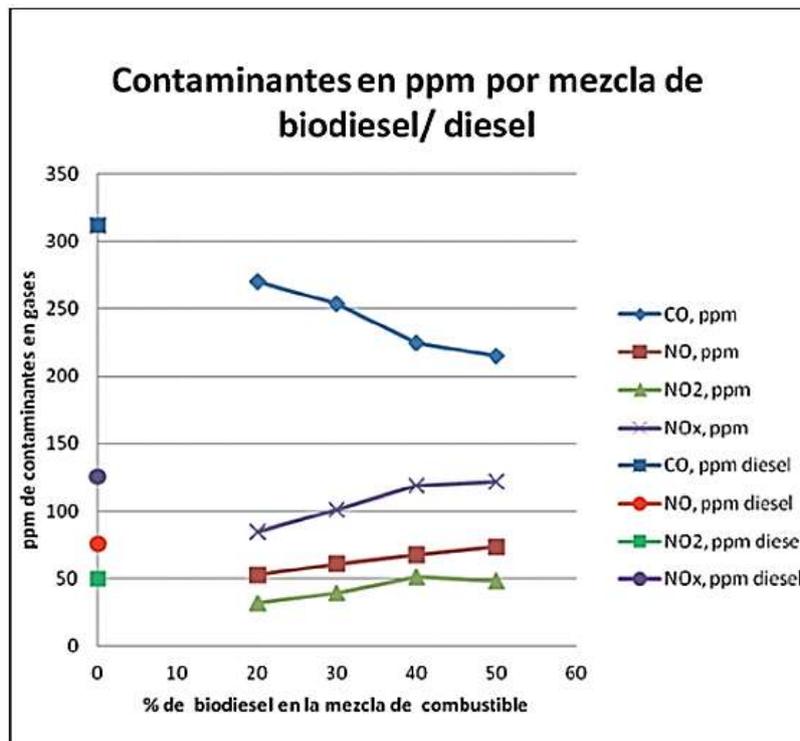
A adição de biodiesel ao diesel comum em concentrações de combustíveis

(5% - B5; 10% - B10; 50% - B50 e até 100% - B100) diminui em grande proporção as emissões de GEE, e se tem praticamente anulada a emissão de enxofre para concentrações acima de 65% de biodiesel (REIS, 2013).

Hasan (2017) em seu trabalho, informou que a concentração de B30 (30% de biodiesel ao diesel) tem quase as mesmas propriedades do diesel de petróleo, e dessa forma proporciona um efeito estufa benéfico, com a diminuição dos gases tóxicos em grandes medidas.

Em seu trabalho Zambrano (2010) avaliou o uso de biodiesel em diferentes concentrações, com o uso de equipamentos em motor estacionário e em uma caldeira piro tubular, com o objetivo de estimar os níveis de poluição do ar nos gases de combustão. A partir dos resultados de ambos os equipamentos, apresentados no Gráfico 4, observa-se claramente que as emissões produzidas pela combustão das diferentes misturas de biodiesel são menos poluentes do que aquelas formadas pela combustão do diesel. Também foi mencionado que ao realizar a medição de SO_x , os resultados foram nulos para todas as condições avaliadas. O autor também observou que, por mais que tenha sido identificado um aumento na medição de óxido de nitroso, os valores de emissão de NO, NO_2 e NO_x foram menores do que os valores obtidos pelas emissões do diesel.

Gráfico 4 - Emissões em ppm por mistura de biodiesel/diesel



4 METODOLOGIA

Os procedimentos de extração e caracterização do óleo das vísceras de tilápia e os ensaios de transesterificação do óleo em estudo para produção do biodiesel foram realizados no Laboratório de Biocombustíveis da Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

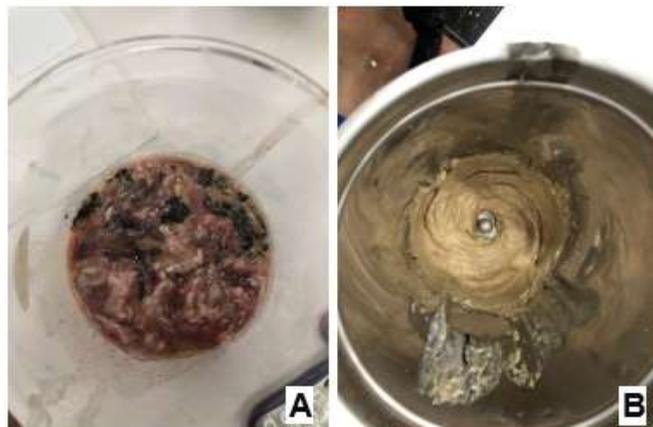
Nesta seção serão apresentadas as etapas realizadas para a obtenção do óleo e posterior produção de biodiesel, bem com os materiais e reagentes utilizados e condições de processo e as caracterizações físico-químicas dos óleos extraídos e biodiesel produzido.

4.1 SELEÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As vísceras de tilápia foram obtidas a partir da classificação e separação dos subprodutos (vísceras, escama, osso) produzidos no processamento do peixe, na empresa de Alquimia Pescados pela aquicultura familiar, localizada na cidade de Foz de Iguaçu, Brasil.

As vísceras foram mantidas em geladeira a -5°C desde o momento da coleta, acondicionadas em caixas térmicas com gelo para o transporte até o laboratório, sendo novamente armazenadas em geladeira até o momento dos testes (CARVALHO, 2016). Para o descongelamento, as amostras foram deixadas a temperatura ambiente, e depois trituradas em um liquidificador industrial (MF012) até se obter uma massa homogênea como é observada na Fotografia 1.

Fotografia 1 - Vísceras in natura (A) e após serem trituradas (B)



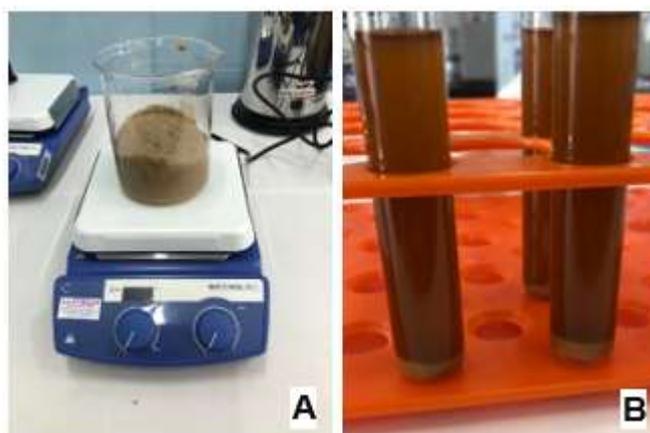
4.2 EXTRAÇÃO DO ÓLEO DAS VÍSCERAS DE TILÁPIA

A extração do óleo foi feita conforme três metodologias distintas com o objetivo de analisar qual método mais adequado para o processamento do óleo e posterior produção de biodiesel, a extração foi feita em batelada e em triplicata.

4.2.1 Extração de óleo sem diluição das vísceras com água

A massa homogênea das vísceras trituradas foi colocada em um béquer de 1L, Fotografia 2 – (A), que foi aquecido em uma placa com agitação magnética (IKA C-MAG HS 7) a uma temperatura de 60°C por um período de 30 min. Após este processo, o produto obtido foi centrifugado (centrifuga EEQ-9004/B) a 4000 rpm durante 15 min, para separação das fases sólidas, aquosa e oleosa (Fotografia 2 – (B)). A fase oleosa foi separada utilizando uma pipeta de Pasteur e armazenada em frasco de vidro para posterior análise.

Fotografia 2 - Produção de óleo sem diluição



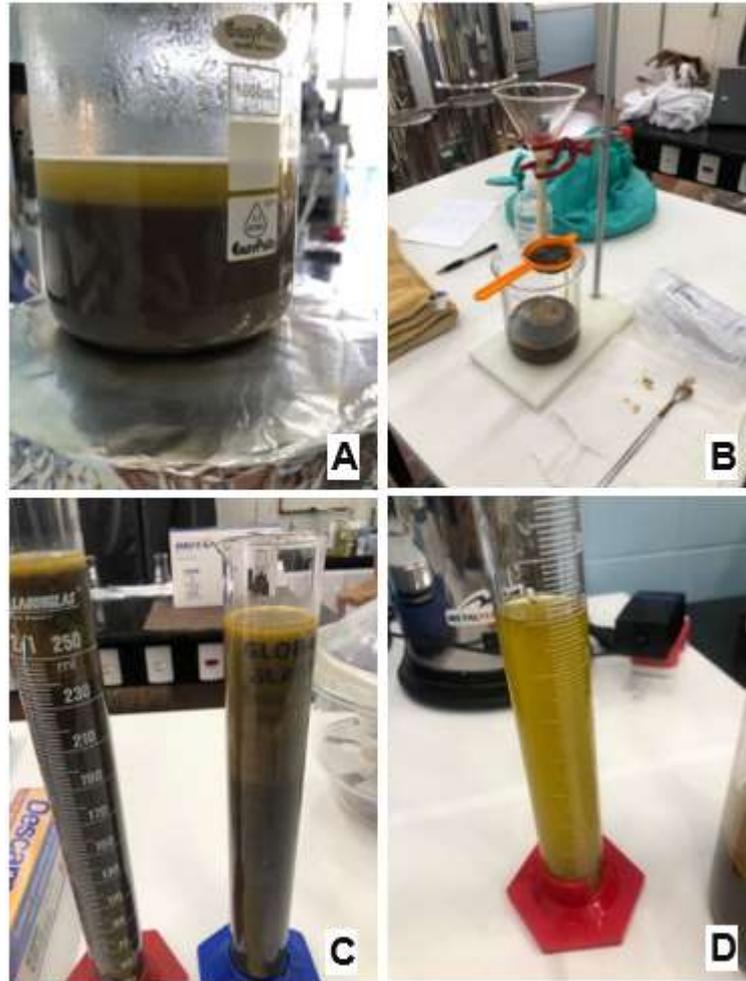
Fonte: Autor, 2022.

4.2.2 Extração do óleo com diluição em proporção 1:1 (Água/Vísceras)

Para essa metodologia de extração, as vísceras trituradas e descongeladas foram misturadas em razão 1:1 (massa homogênea : água destilada), com água a 60°C . Em seguida a mistura foi aquecida em uma placa com agitação magnética (IKA C-MAG HS 7) a uma temperatura de 60°C por um período de 30 min, o processo é ilustrado na Fotografia 3 – (A). Após o aquecimento, a mistura foi peneirada utilizando uma peneira doméstica a fim de separar sólidos de maior granulometria e em seguida transferida para

provetas de 100mL para sua separação durante 18 horas, conforme imagens nas Fotografias 3 – (B) e (C), respectivamente. Após esse período, constatou-se a separação de fases sólida, aquosa e oleosa (Fotografia 3 – (D)). A fase oleosa foi separada utilizando uma pipeta de Pasteur e armazenada em frasco de vidro para seu posterior estudo.

Fotografia 3 - Produção de óleo com diluição 1:1 (massa homogênea : água)



Fonte: Autor, 2022.

4.2.3 Extração de óleo com aquecimento direto com fogão a gás

A extração foi feita seguindo a metodologia aplicada na empresa Alquimia pesqueira pela aquicultura familiar. As vísceras de tilápia, sem triturar nem diluição com água, foram aquecidas em um fogão a gás, considerando a temperatura da chama do gás doméstico a 400°C, por 15 min, até a evaporação total da água. Em seguida, o material foi peneirado para a redução da granulometria dos sólidos, e submetido a uma prensagem para maior aproveitamento e separação do óleo cru (Fotografia 4).

Fotografia 4 - Produção de óleo com fogão doméstico



Fonte: Autor, 2022.

4.3 CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO CRU, ÓLEO REFINADO E BIODIESEL

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata. Para a caracterização do óleo extraído das vísceras de tilápia, óleo refinado e o biodiesel produzido, foram realizadas análises para a determinação da densidade, viscosidade cinemática, ácidos graxos livres, índice de acidez, ponto de nuvem, além da estimativa do rendimento de óleo bruto e do biodiesel.

4.3.1 Rendimento do óleo bruto e do biodiesel

A eficiência do processo de extração do óleo das vísceras de tilápia, bem como para a reação de produção do biodiesel foram avaliadas a partir do rendimento dos produtos em cada processo.

A eficiência da metodologia de extração do óleo bruto foi calculada tendo

como referência a massa do óleo bruto e a massa homogênea de vísceras de tilápia utilizada no processo de obtenção do óleo, conforme equação (1) (CARVALHO, 2016).

$$R_o = \frac{m_{o_b}}{m_{H_T}} * 100 \quad (1)$$

Onde:

R_o = rendimento do óleo bruto obtido.

m_{o_b} = massa do óleo bruto obtido.

m_{H_T} = massa homogênea das vísceras de tilápia utilizada no processo.

A eficiência do biodiesel foi estimada considerando a massa do óleo refinado e a massa do biodiesel obtido, segundo a Equação (2) (GAIO, 2019).

$$R_B = \frac{m_{Bio}}{m_{o_re}} * 100 \quad (2)$$

Onde:

R_B = rendimento do biodiesel obtido.

m_{Bio} = massa do biodiesel obtido.

m_{o_re} = massa do óleo refinado.

4.3.2 Densidade a 20°C

Para a determinação da densidade do óleo bruto, óleo refinado e o biodiesel, foi empregado o método volumétrico (GAIO, 2019) A análise foi realizada a 20°C. Em uma proveta de 10 mL pesada previamente, adicionou-se 2 mL de amostra até aferir o menisco. A proveta com a amostra foi então pesada em balança analítica e a densidade calculada conforme a Equação (3).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Em que:

ρ = densidade(kg/m³).

m = massa da amostra (kg).

V = volume (m³).

4.3.3 Viscosidade cinemática a 40° C

A viscosidade do óleo e do biodiesel foi determinada utilizando um viscosímetro de marca DV3T Extra Rheometer, equipado com um sensor de temperatura RV-02 (spindle número 2) e uma placa de aquecimento para aquecer a amostra até a temperatura de 40°C (Fotografia 5).

Utilizando a Equação (4) foi possível o cálculo da viscosidade cinemática (mm^2/s)

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

Em que:

v = Viscosidade cinemática (mm^2/s).

μ = Viscosidade dinâmica ($\text{mPa}\cdot\text{s}$).

ρ = Densidade da amostra estudada (kg/m^3)

Fotografia 5 - Viscosímetro DV3T Extra Rheometer para a determinação da viscosidade



Fuente: Autor, 2022.

4.3.4 Determinação do teor de Ácidos graxos livres (AGL) do óleo

A determinação do AGL percentual (AGL %) foi feita pelo método da titulação volumétrica, utilizando uma solução de NaOH 0,10086 mol/L (padronizada com biftalato de potássio – P.A.) como titulante, na presença de 3 gotas de fenolftaleína a 1% m/v como indicador, até a ocorrência de coloração levemente rosada, indicando a neutralização da amostra (SILVA, 2012).

Para a análise, pesou-se 1 grama da amostra estudada em um erlenmeyer de 125 mL, onde acrescentou-se 25 mL de uma solução de éter etílico : álcool etílico a 95% (2 :1 vv) dissolvendo e homogeneizando a amostra, seguida pela titulação. Foi utilizado a Equação (5) para o cálculo do teor de ácidos graxos (SILVA, 2012).

$$AGL\% = \frac{V*N*PM}{(\%AO)*m_a} \quad (5)$$

Onde:

AGL% = porcentagem de ácido graxo livres.

V= volume utilizado na titulação.

N = concentração do titulante, solução NaOH.

PM= peso molecular do NaOH.

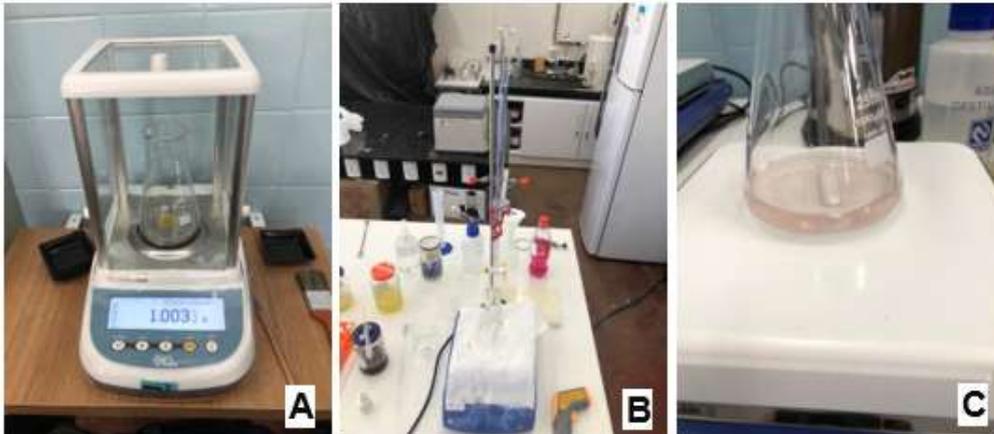
%AO = relação da % de ácido oleico, valor 1,99.

m_a = massa da amostra utilizada para a titulação (g).

4.3.5 Determinação do Índice de Acidez (IA) do Biodiesel

A determinação do índice de acidez foi realizada segundo a metodologia de Martinez (2019), aplicando a norma ASTM 974, onde pesou-se 1 grama da amostra em um erlenmeyer de 125 mL, utilizando uma balança analítica. A amostra foi então dissolvida em 25 mL de uma mistura éter etílico : álcool etílico a 95% (2 : 1 v/v). Posteriormente titulada com solução de NaOH 0,10086 mol/L mol/L, utilizando 3 gotas de fenolftaleína a 1% m/v, até a ocorrência de uma coloração levemente rosada e persistente (GAIO, 2019).

Fotografia 6 - Processo de titulação para determinação do AGL e IA



Fonte: Autor, 2022

O Índice de Acidez da amostra foi determinado segundo a Equação 6, levando em conta o volume gasto do titulante e a massa da amostra (DORS, 2021).

$$IA \% = \frac{V \cdot N \cdot PM \cdot f_c}{(\%AO) \cdot m_a} \quad (6)$$

Onde:

IA % = porcentagem de índice de acidez expresso em ácido oleico.

V = volume gasto na titulação.

N = concentração do titulante, solução NaOH.

PM = peso molecular do NaOH.

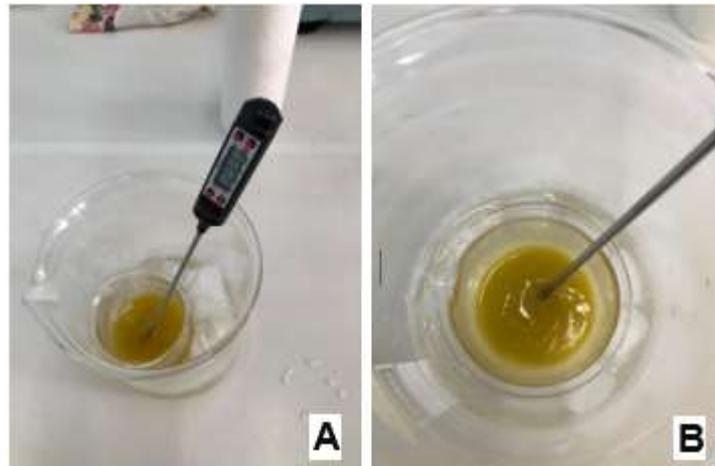
%AO = relação da % de ácido oleico, valor 1,99.

m_a = massa da amostra utilizada para a titulação (g).

f_c = fator de correção da solução do titulante utilizado NaOH, valor de 1,0086

4.3.6 Ponto de nuvem

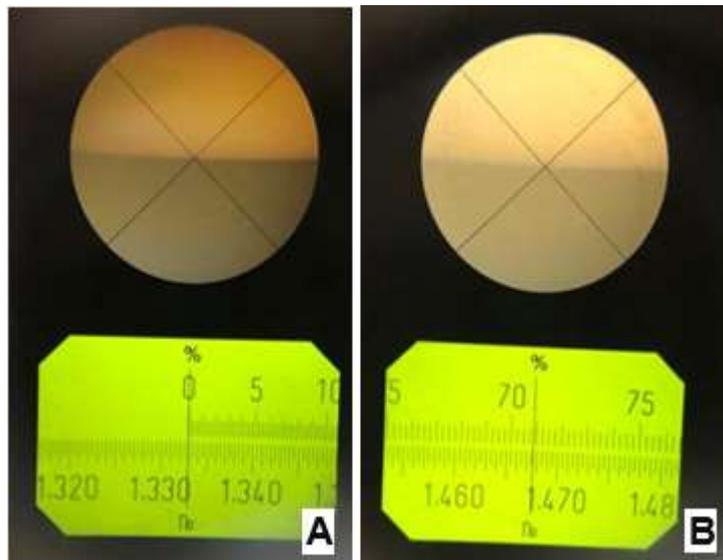
A determinação do ponto de nuvem seguiu a norma ASTM 2500, 100 mL da amostra foram colocadas em um becker de 100mL, que foi acondicionado em banho de gelo e um termômetro para determinar a leitura da temperatura do óleo no momento em que começa a sedimentar (MARTINEZ, 2019).

Fotografia 7 - Determinação do ponto de nuvem

Fonte: Autor, 2022.

4.3.7 Índice de refração

O grau de saturação foi determinado utilizando um refratômetro de bancada. A calibração do refratômetro foi feita utilizando água destilada ($n_D^{20} = 1,333$).

Fotografia 8 - Calibração do refratômetro (A) e leitura da amostra (B)

Fonte: Autor, 2022.

4.4 REFINAMENTO DO ÓLEO BRUTO

O refinamento do óleo bruto para seu posterior processamento a biodiesel, seguiu a metodologia descrita por Gaio (2019), Mota (2019) e Carvalho (2016), que consiste em filtração, degomagem, neutralização, lavagem e desumidificação. Os procedimentos foram realizados em todas as amostras estudadas do óleo bruto.

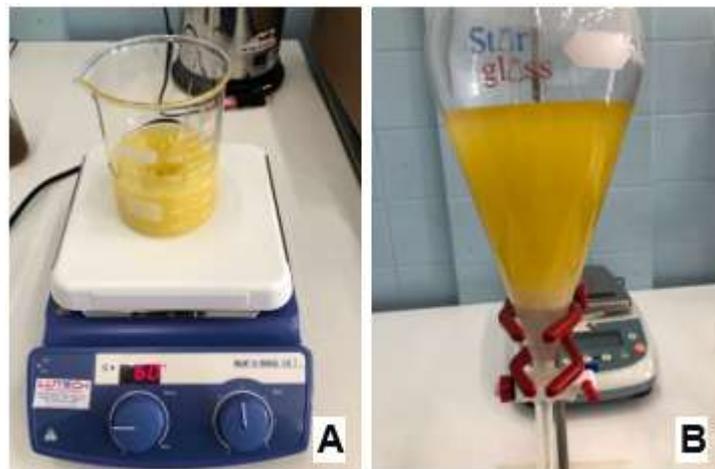
4.4.1 Filtração

Para adequar o óleo bruto e assegurar que todo o fluido esteja em fase líquida, o óleo foi aquecido, sob agitação, mediante o uso de uma placa com agitador magnético (IKA C-MAG HS 7) na temperatura de 45°C por 5 min, até que a amostra ficasse completamente líquida. Após este período, a amostra foi filtrada à vácuo, utilizando um sistema equipado com funil de buchner com um filtro qualitativo e adaptado em um kitassato e conectado a uma bomba de alto vácuo SL 62 (VE 2100D) (GAIO, 2019).

4.4.2 Degomagem

No processo de degomagem, ao óleo bruto foi acrescentado 5% de água destilada em relação ao volume do óleo, seguido pelo aquecimento da mistura a uma temperatura de 60°C por 20 minutos. Após esse período a mistura foi transferida e mantida sobre repouso em um funil de decantação por 8 horas para depois remover as gomas.

Fotografia 9 - Degomagem do óleo bruto



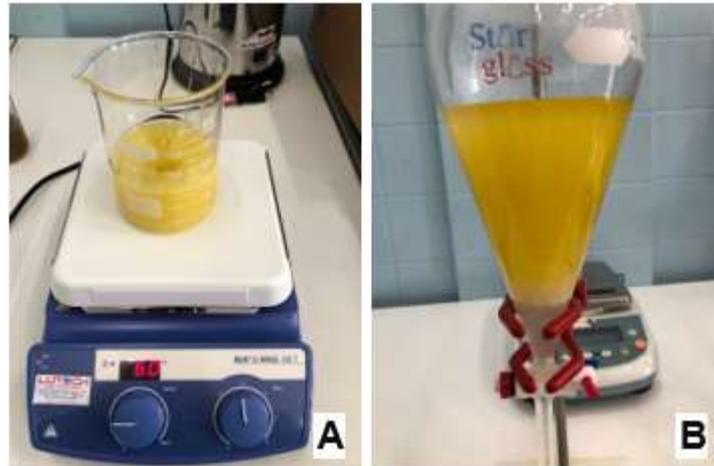
Fonte: Autor, 2022.

4.4.3 Neutralização

A neutralização foi realizada segundo Carvalho (2016), onde ao óleo bruto que vem do processo de degomado adicionou-se uma solução NaOH a 4,02 mol/L (16% de NaOH puro). Posteriormente a mistura foi submetida a agitação constante a temperatura

de 60°C por 10 minutos. As fases foram separadas em funil de decantação (Fotografia 10).

Fotografia 10 - Processo de neutralização do óleo bruto



Fonte: Autor, 2022.

A massa (g) da solução de NaOH de 4,02 mol/L necessário para neutralizar 100 g de óleo bruto, foi calculada utilizando a equação (7) denominada porcentagem de tratamento, e aplicada para cada amostra estudada, considerando o seu Índice de acidez (CONTRERAS, 2006).

$$T_{\frac{\text{NaOH}}{4,02 \text{ mol/L}}} = \frac{IA_a * f_{\text{NaOH}} + \text{Exc}}{\left(\frac{\%QHSP}{100}\right)} \quad (7)$$

Onde:

$T_{\frac{\text{NaOH}}{4,02 \text{ mol/L}}}$ = Massa grama de solução de hidróxido de sódio necessária para a neutralização de 100 g.

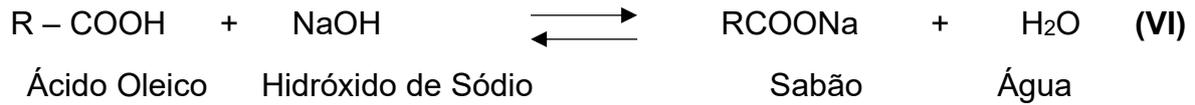
IA_a = Índice de acidez da amostra estudada que se deseja neutralizar.

f_{NaOH} = Fator de hidróxido de sódio (valor teórico de 0,142).

EXC = Excesso de solução de hidróxido de sódio (para óleo bruto é 0,12 a 0,15% e para óleo bruto degomado é 0,10 a 0,12%)

$QHSP$ = Quantidade de hidróxido de sódio puro presente na solução de hidróxido de sódio a 4,02 mol/L (Valor teórico 16%).

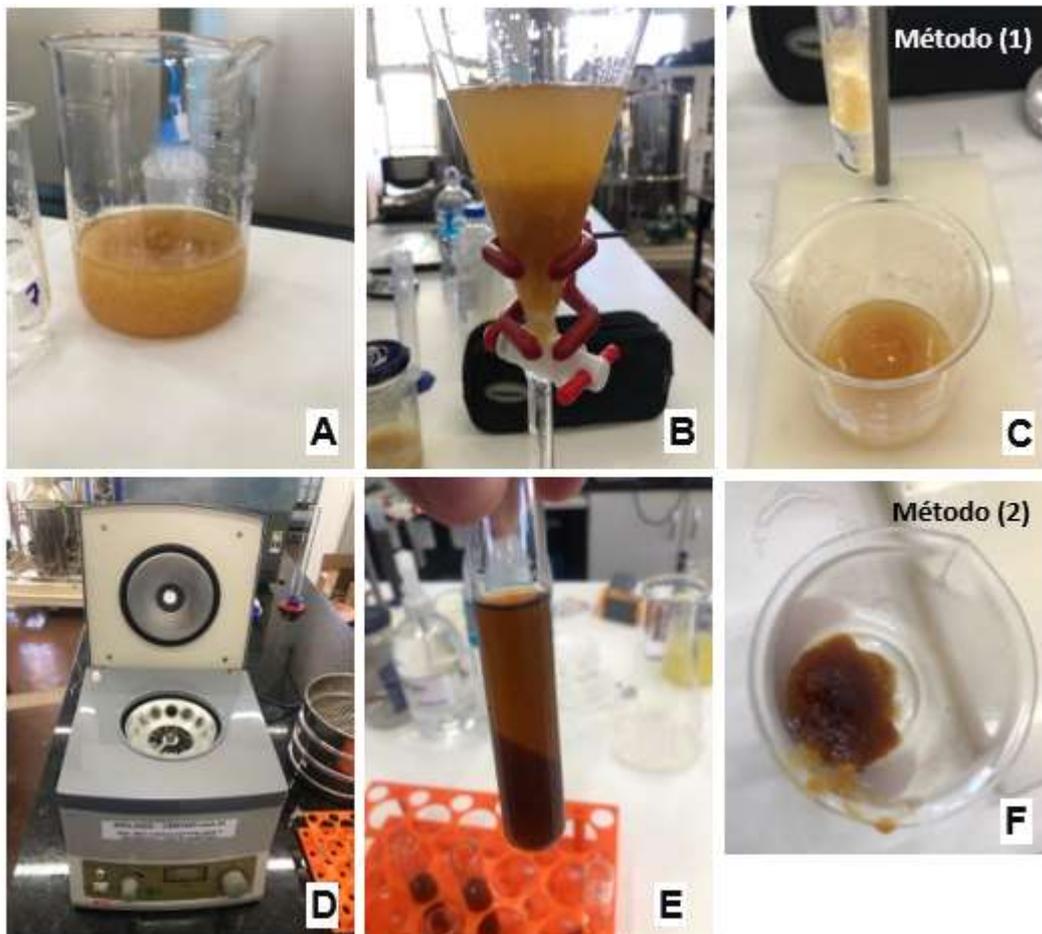
O valor teórico do fator de hidróxido de sódio (f_{NaOH}), foi estimado levando em conta a estequiometria de reação de neutralização em relação ao hidróxido de sódio e os ácidos graxos livres presentes no óleo, para fins dos cálculos foi utilizado como referência o ácido oleico (CONTRERAS, 2006).



4.4.4 Lavagem

Após a neutralização, o óleo foi submetido a lavagem, adicionando 5% de água destilada em relação a massa do óleo e aquecido à temperatura controlada de 60°C por 10 minutos sujeito a agitação constante utilizando uma placa térmica com agitação magnética (IKA C-MAG HS 7). Posteriormente, a mistura foi colocada em funil de decantação por 8 horas para sua posterior separação e remoção de sabão.

Fotografia 11 - Neutralização do óleo tratado

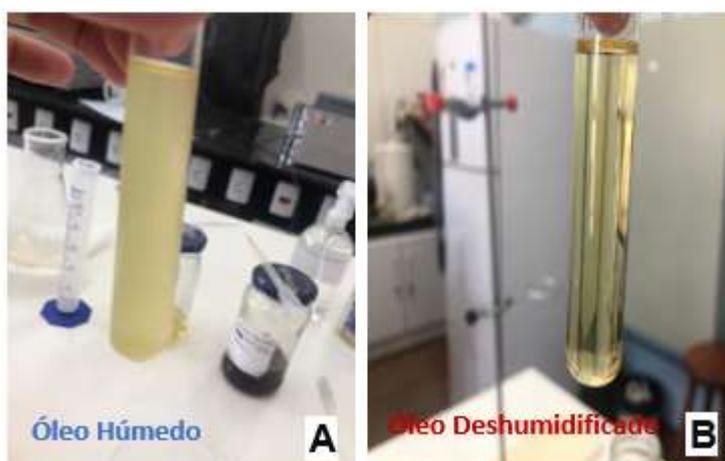


Fonte: Autor, 2022.

4.4.5 Desumidificação

A remoção da água do óleo tratado foi feita utilizando uma estufa a vácuo, a 115°C, sob vácuo de 700 mmHg por um período de 30 minutos, conforme procedimento descrito por Mota (2019). A Fotografia 12 mostra a imagem de uma amostra do óleo antes e após o processo de desumidificação.

Fotografia 12 - Desumidificação do óleo



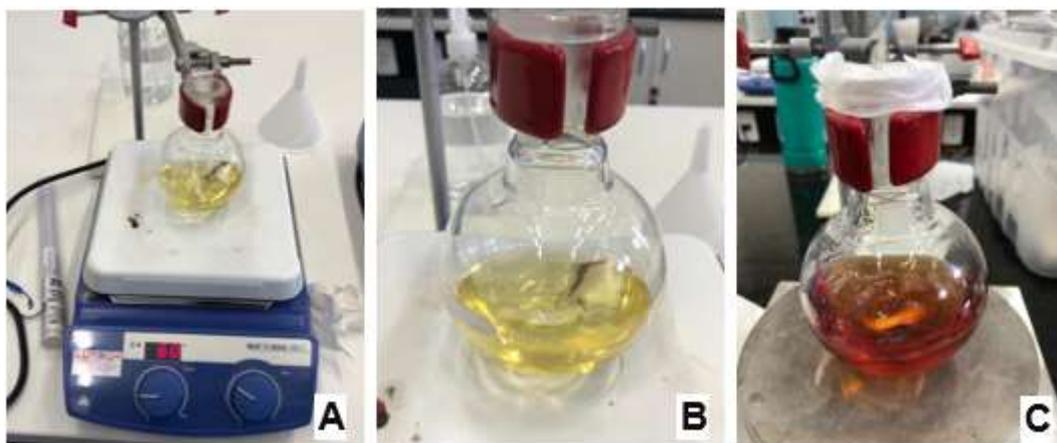
Fonte: Autor, 2022.

4.5 PRODUÇÃO DO BODIESEL

Os óleos refinados foram submetidos a um processo de transesterificação, utilizando catalizador alcalino hidróxido de potássio (KOH). A reação foi realizada em balão de fundo redondo de 250 mL, no qual foi colocado 46 g do óleo tratado e 0,23 g de KOH (0,5 % de massa de KOH em relação a massa do óleo refinado) em 15,5 g de álcool etílico a 95% para formação de etóxido, aplicando a proporção molar de 1 : 6 (óleo refinado : álcool) garantindo um excesso de álcool etílico, e posteriormente ser adicionado junto ao óleo previamente aquecido. O etóxido de potássio foi adicionado lentamente sob agitação magnética, tomando cuidado em não espirrar nas paredes. A Fotografia 13 mostra o processo de reação de transesterificação. O sistema foi mantido sob agitação magnética utilizando uma placa magnética (IKA C-MAG HS 7). A temperatura do sistema reacional foi

mantida no intervalo de 50° a 60°C por um período de 1 hora.

Fotografia 13 - Sistema montado (A), Preaquecimento do óleo (B) e processo de transesterificação (C)

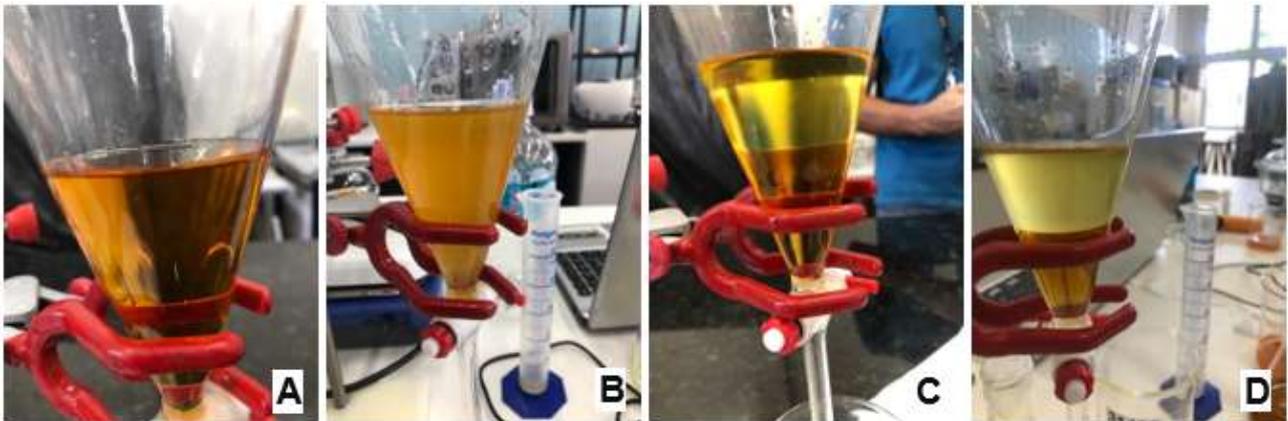


Fonte: Autor, 2022.

Em seguida, o produto resultante da reação de transesterificação foi submetido a evaporação utilizando um evaporador rotativo (IKA RV8 - Digital), com o objetivo de recuperar o álcool em excesso para posterior reutilização. Neste o produto foi submetido por 10 minutos seguindo as seguintes condições de processo, temperatura a 60°C, pressão -700mmHg, rotação a 45 rpm e vazão de água fria cerca de 30 mL/s (GAIO, 2019).

Após a remoção do álcool, o produto da reação foi colocado em um funil para sua decantação e separação de fases. Devido à formação de emulsão entre o biodiesel e a glicerina, como pode ser visto na Fotografia 14 – (A) e (B), foi adotado o procedimento descrito por Machado (2015) e Ribeiros (2013) para proceder à separação das fases. Nesta metodologia, 10 mL de glicerina P.A. foram adicionadas à amostra contida no funil e foi levemente agitado, promovendo a separação do restante do glicerol. O resultado, após um período de repouso para separação das fases, é mostrado na Fotografia 14 – (C) e (D), nos quais a fase superior é o biodiesel e a fase inferior mais densa é a glicerina.

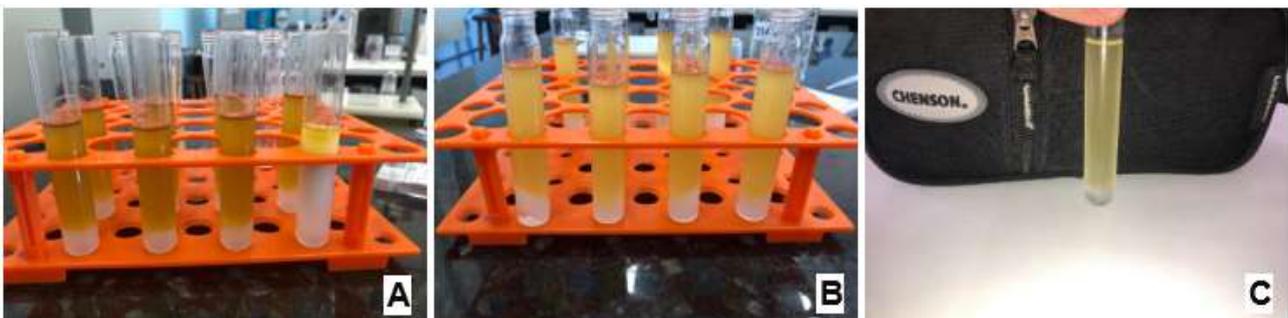
Fotografia 14 - Após do aquecimento (A), Adição de Glicerina P.A. (B), Separação de fases – Biodiesel e Glicerina (C) e (D)



Fonte: Autor, 2022.

O glicerol coletado foi armazenado e reutilizado nos testes seguintes com a mesma amostra estudada. O biodiesel foi submetido à lavagem úmida. Nesta, adicionou-se uma proporção de 10% em relação a massa do biodiesel de água destilada aquecida a 80°C, seguindo de uma leve agitação manual para homogeneizar a mistura e permitir o melhor contato entre as fases (MOTA, 2019). Em seguida, a mistura foi centrifugada (centrifuga EEQ-9004/B) a 4000 rpm durante 10 minutos para a separação de fases. A Fotografia 15 (A) e (B) mostra o desenvolvimento dessa etapa. Essa etapa foi repetida várias vezes até que a fase inferior ficasse transparente e o pH próximo da neutralidade. A Fotografia 15 – (C) mostra uma imagem da amostra ao final do processo de lavagem.

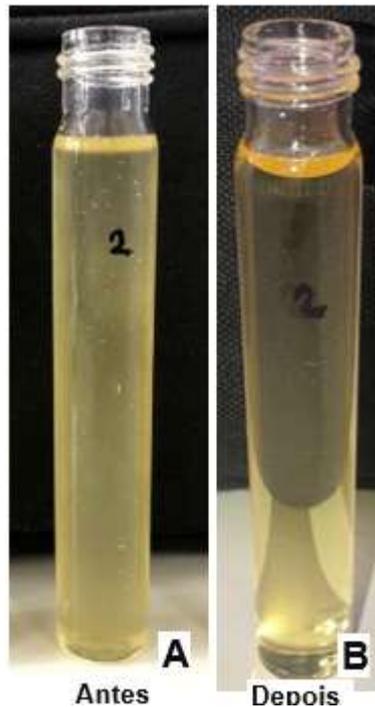
Fotografia 15 - Lavagem do biodiesel



Fonte: Autor, 2022.

Após do processo de lavagem, o biodiesel foi colocado em estufa na temperatura de 110°C para a remoção de resíduos de água e álcool ainda presentes. A Fotografia 16 ilustra os resultados obtidos de cada amostra analisada.

Fotografia 16 - Biodiesel lavado (A) e Biodiesel desumidificado (B)



Fonte: Autor, 2022.

4.5.1 Cálculo da massa do óleo, álcool e catalisador para a transesterificação

As quantidades de óleo, álcool e do catalisador (KOH) a serem utilizados no processo de transesterificação pela rota etílica foram determinadas segundo metodologia descrita por Gaio (2019) e Christoff (2006).

4.5.1.1 Estimativa da massa molar do óleo de vísceras de tilápia

O peso molecular do óleo refinado (PM_0) foi estimado considerando a Tabela 3, que apresenta as porcentagens de ácido graxo presentes e as diferentes quantidades em sua composição, dados às diferentes composições dos ácidos graxos presentes no óleo.

Christoff (2006), expressa que se pode estimar a massa molar do óleo vegetal considerando as composições de ácido graxo em maiores quantidades, sendo possível obter uma massa molar média. Considerando os ácidos graxos em maiores concentrações encontrados no de peixe de tilápia, seja o caso, o palmítico (33.19% e $PM_p = 256.4\text{g/mol}$), oleico (28.60% e $PM_{ol} = 282.47\text{ g/mol}$) e linoleico com (16.30% e $PML_i =$

280.4472g/mol), mostrada na Tabela 3, obtendo-se assim um valor médio de 819,3172 g/mol para a massa molar do óleo extraído das vísceras de tilápia.

4.5.1.2 Cálculo da massa do óleo utilizada na reação de transesterificação

Nos ensaios foram utilizadas 46 gramas do óleo, assim, a partir de Christoff (2006), a densidade (ρ) do óleo estimado para o cálculo é 0,92 g/mL, pela equação (9) obtém-se a massa do óleo (m_o) necessário para o processo.

$$\rho = \frac{m_o}{V} \rightarrow m_o = 46,05g \quad (9)$$

4.5.1.3 Cálculo da massa de álcool para a reação de transesterificação

Conforme a reação global (II), a razão molar para a transesterificação é 1:3 (óleo : álcool). Contudo, visando favorecer a reação, utiliza-se normalmente um excesso de álcool. Seguindo a metodologia desenvolvida por Carvalho (2016), o processo foi realizado utilizando a proporção molar 1:6. Então, o número de mol do óleo (N_o) foi determinado a partir da equação (10), utilizando os valores da massa do óleo calculada (m_o) e o peso molecular estimado do óleo (PM_o).

$$N_o = \frac{m_o}{PM_o} \rightarrow N_o = 0,0562 \text{ moles de óleo} \quad (10)$$

A partir da razão molar óleo/álcool, pode-se determinar o número de mol de álcool (N_{al}), conforme equação (11) e estimar a quantidade do álcool (m_{al}) necessário no processo de transesterificação (equação (12)).

$$N_{al} = 6 * N_o \rightarrow N_{al} = 0,3372 \text{ moles de álcool} \quad (11)$$

$$m_{al} = N_{al} * PM_{al} \rightarrow m_{al} = 15,535 \text{ gramas de álcool etílico} \quad (12)$$

4.5.1.4 Cálculo da massa do catalisador (KOH)

A massa do catalisador necessária para o processo de transesterificação de 50mL de óleo, foi definida considerando a proporção de 0,5 % de massa em relação a massa do óleo a ser usado, conforme equação (13).

$$m_{KOH} = 0,005 * m_o \rightarrow m_{KOH} = 0,2303 \text{ gramas de KOH} \quad (13)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão abordados os conceitos, resultados e discussões observadas durante a execução do estudo, divididas em: Análise das vísceras de tilápias coletadas, produção do óleo bruto de vísceras de tilápias, caracterização do óleo bruto, refinamento do óleo bruto, caracterização do óleo refinado, produção do biodiesel e caracterização do biodiesel extraído.

5.1 ANÁLISE DAS VÍSCERAS DE TILÁPIAS COLETADAS

Antes do começo da atividade, foi realizada uma pré-visualização da nossa matéria-prima coletada, no qual foi observada os principais constituintes da nossa matéria-prima: espinhas de peixe em baixas proporções, escamas, partes dos intestinos, coração, entre outros (Fotografia 1 (A)). As vísceras apresentam um cheiro de deterioração do material orgânico.

5.2 PRODUÇÃO DO ÓLEO BRUTO E REFINAMENTO

Os testes de extração e refinamento do óleo foram realizados em batelada. Foram feitas três coletas de vísceras para estudo, e as metodologias extração e refinamento foram realizadas em triplicata para avaliar a reprodutibilidade dos experimentos. Com o objetivo de definir o melhor procedimento para a extração do óleo, cada uma das coletas foi submetida a um procedimento de extração, conforme item 4.2 acima, sendo assim estabelecido:

- Coleta 1: Extração do óleo com diluição em proporção 1:1 (água : vísceras).
- Coleta 2: Extração do óleo sem diluição.
- Coleta 3: Extração do óleo com aquecimento em fogão a gás.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para o processo de extração para as amostras da coleta 1. Neste, o óleo das vísceras foi extraído empregando a diluição do material em água, na proporção 1:1 (água: vísceras), e mantida em repouso até se observar três fases (óleo, água e uma fase sólida). O óleo foi coletado e as duas fases

restantes foram mantidas em repouso por 18 h, resultando em uma pequena camada de óleo entre uma camada de espuma que pode representar gordura coagulada (SOUZA, 2014). Nesse ponto, não foi possível separar o óleo, pois constatou-se a arraste de resíduos sólidos. Também foram visualizadas pequenas bolhas de óleo misturado com a água após 18 h de decantação, provavelmente pela formação de emulsão do óleo e água. Nesta metodologia o rendimento obtido na extração foi de 27,1%.

Tabela 5 - Rendimento da extração do óleo com diluição em proporção 1:1 (Água: Óleo) – Coleta 1

	Massa Homogênea de vísceras (g)	Massa do óleo extraído (g)	Volume de óleo bruto (mL)	Rendimento (%)
1	325,8	87,3	96,0	26,8
2	323,1	88,3	97,5	27,3
3	330,8	90,2	100,0	27,3
			Média (%)	27,1 ± 0,3

Fonte: Autor, 2022.

A extração do óleo das amostras da segunda coleta, foi realizada seguindo a metodologia sem diluição com água. Após o aquecimento da amostra, foi possível visualizar uma pequena proporção de óleo na superfície da fase líquida. Devido à coloração marrom escuro do óleo, constatou-se o arraste da fase sólida pelo óleo, que foi separado por centrifugação (Fotografia 2 – (B)). Um rendimento superior ao obtido pela extração empregando diluição do resíduo foi alcançado, e esse resultado pode ser atribuído à não formação da emulsão pela presença da água e também ao processo de centrifugação, mais eficiente que a decantação empregada na metodologia anterior.

Tabela 6: Rendimento da extração do óleo sem diluição com água – Coleta 2

	Massa Homogênea de vísceras (g)	Massa do óleo extraído (g)	Volume de óleo bruto (mL)	Rendimento (%)
1	335,8	105,5	116,5	31,4
2	332,1	110,0	120,9	33,1
3	333,8	108,7	119,8	32,6
			Média (%)	32,4 ± 0,9

Fonte: Autor, 2022.

Para garantir a eficiente extração do óleo, a fase sólida separada no processo da centrifugação foi mantida em repouso por 18 horas. Contudo, não foi observada a separação de óleo deste material.

A fim de avaliar o método de extração de óleo das vísceras empregado na empresa, as amostras da coleta 3 foram submetidas a aquecimento em fogão a gás para promover a separação. Após 15 min de aquecimento, foi possível visualizar a fase oleosa na camada superior, separada da fase sólida. Os resultados do rendimento para essa metodologia são apresentados na Tabela 7. Com esta metodologia de extração, obteve-se um rendimento médio de 26,3% de óleo bruto a partir das vísceras.

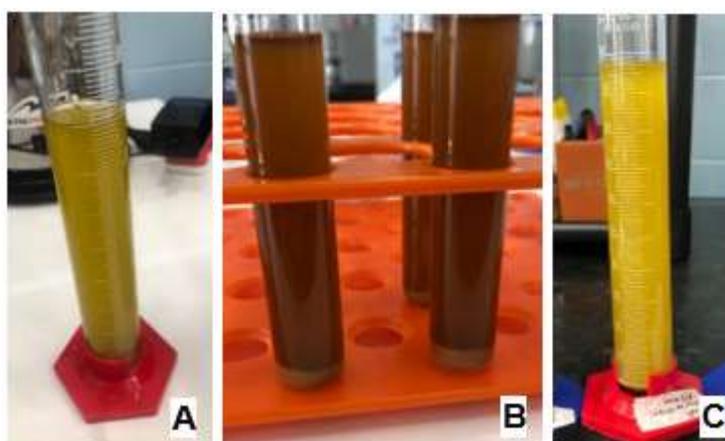
Tabela 7 - Rendimento da extração do óleo com aquecimento em fogão a gás – Coleta 3

	Massa Homogênea de vísceras (g)	Massa do óleo extraído (g)	Volume de óleo bruto (mL)	Rendimento (%)
1	342,0	89,5	100,0	26,2
2	350,0	93,4	105,0	26,4
3	335,0	87,7	98,5	26,2
			Média (%)	26,3 ± 0,3

Fonte: Autor, 2022.

O óleo foi então filtrado duas vezes, resultando em um produto com coloração amarela, mais límpida em comparação com o óleo extraído conforme as metodologias anteriores. A fase sólida formado apresentou menor quantidade de água. A Fotografia 17 apresenta imagens dos óleos extraídos em cada uma das coletas.

Fotografia 17 - Extração de óleo da Coleta 1 (A), Coleta 2 (B) e Coleta 3 (C)



Fonte: Autor, 2022.

Analisando todas as amostras estudadas, é possível concluir que se o objetivo é extração do óleo das vísceras em laboratório, a metodologia proposta na coleta 2 sem diluição, é a mais adequada, pois apresentou o melhor rendimento na extração de óleo, em relação as metodologias empregadas no material das coletas 1 e 3.

O rendimento médio para a extração sem diluição, aplicada para as amostras da coleta 2 foi próximo ao obtido por Carvalho (2016). O autor obteve um rendimento de 34,7% de teor de óleo para vísceras de tilápias, empregando uma centrifuga na etapa de separação. Os resultados estão de acordo com o esperado, pois como foi observado, a utilização da centrifuga promove uma melhor separação do óleo, aumentando o rendimento da extração.

Para a aplicação do óleo extraído das vísceras na produção de biodiesel, o óleo bruto precisa ser submetido ao pré-tratamento, composto de várias etapas para a obtenção do óleo refinado, com características adequadas à reação de transesterificação alcalina. Uma dessas etapas é a degomagem para a remoção de gomas naturais tais como os fosfolípidios e proteínas, substancias coloidais, entre outros, reduzindo assim o consumo de álcali na etapa de neutralização. Nesta segunda etapa, conhecendo-se o teor de ácidos graxos livres do óleo bruto, as amostras foram misturadas a diferentes quantidades de NaOH a 4,02 mol/L, resultando na formação de sabão pela presença dos ácidos graxos livres na reação. A solução final apresentou um pH próximo de 7 usando o papel indicador de pH.

Após a neutralização, o óleo foi submetido a uma etapa de lavagem e, devido à formação do sabão na etapa anterior, verificou-se uma redução na quantidade de óleo em relação ao total extraído das amostras em cada coleta do resíduo. A quantidade de óleo refinado obtido após a neutralização foi apresentada na Tabela 8. Destaca-se que a quantidade de óleo bruto submetido ao tratamento corresponde às quantidades totais extraídas das vísceras, considerando as análises em triplicata.

Tabela 8 - Parâmetros da porcentagem de perda de óleo pelo tratamento alcalino

Coleta 1		
Massa do óleo bruto (g)	Massa do óleo refinado (g)	Perda de óleo (%)
265,8	128,4	51,7
Coleta 2		
Massa do óleo bruto (g)	Massa do óleo refinado (g)	Perda de óleo (%)
324,2	177,1	45,4
Coleta 3		
Massa do óleo bruto (g)	Massa do óleo refinado (g)	Perda de óleo (%)
270,6	230,1	15,0%

Fonte: Autor, 2022.

Para a amostra referente à coleta 1, a perda de óleo na etapa de refino foi de 51,7%, a maior perda dentre as amostras analisadas. Essa perda acentuada é devido ao elevado teor de ácidos graxos livres da amostra e consequente formação de maior quantidade de sabão (Tabela 9). Além disso, após a neutralização e lavagem, a separação das fases não foi completa, havendo a formação de emulsão e o arraste de óleo junto com a água e sabão descartados.

Para a amostra de óleo refinado obtido a partir das vísceras da coleta 2, após a etapa de neutralização e lavagem, foi realizada a separação do sabão e do óleo usando uma centrifuga, o que, mesmo com o óleo bruto apresentando maior quantidade de ácidos graxos livres do que o óleo da primeira coleta (Tabela 9), teve uma perda consideravelmente inferior. Esse resultado destaca a importância da centrifugação para a separação do óleo refinado.

Já com a amostra do óleo refinado resultante dos resíduos da coleta 3, além do favorecimento da recuperação do óleo mediante a centrifugação do produto após neutralização e lavagem, tal amostra apresentou o menor teor de ácidos graxos livres dentre as amostras de óleo bruto extraídas. Desta forma, o óleo bruto obtido das amostras dessa última coleta consumiu uma menor quantidade de NaOH na etapa de neutralização, como pode ser constatado no Apêndice C planejamento experimental – neutralização do óleo bruto.

Alguns autores, como Martinez (2019) destacam que a porcentagem de AGL deve ser inferior a 2% para submeter o óleo ao processo de transesterificação alcalina. Além disso, explicam também que para os casos em que o teor de ácidos graxos livres é muito elevado, tem-se que realizar a neutralização, a partir do processo de esterificação em meio ácido.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO E DO ÓLEO REFINADO

Os óleos em estudo, foram submetidas a análises físico-químicos para avaliar a qualidade e viabilidade do óleo para o posterior refino e uso no processo de transesterificação para a produção de biodiesel. Os resultados obtidos nas caracterizações físico-química avaliadas no óleo bruto e refinado extraído das vísceras de tilápias, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros físico-químico do óleo bruto e refinado extraído das vísceras de tilápias

Parâmetros	Unidades	Óleo Bruto				Óleo Refinado			
		Coleta	Coleta	Coleta	Media	Coleta	Coleta	Coleta	Media
		1	2	3		1	2	3	
Densidade a 20°C	kg/m ³	910,2	910,0	891,0	903,7	881,0	898,0	885,0	888,0
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	76,5	78,7	82,2	79,1	78,0	78,8	80,7	79,1
Ácido Graxo Livre (AGL)	%AGL	6,6	10,5	1,2	-	0,1	0,4	0,9	-
Ponto de nuvem	°C	14,6	15,3	15,6	15,2	14,3	14,3	13,5	14,0
Índice de Refração	a 25°C	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Fonte: Autor, 2022.

Os resultados de densidade obtidos foram comparados com os resultados de Carvalho (2016), que alcançou um valor médio de 898 kg/m³, e o trabalho feito por Mota (2019), onde foi estabelecido um valor de 914,20 kg/m³ para óleos brutos vindos do

processamento de víscera de tilápias. Comparando os resultados obtidos nesse trabalho, verifica-se que para os óleos brutos, a densidade média apresentou um resultado de 903,7 kg/m³, valor superior ao observado por Carvalho (2016), mas inferior ao indicado por Mota (2019).

Ao contrário, os resultados da viscosidade encontrados tanto para o óleo bruto quanto refinado, são muito superiores ao resultado apresentado por Mota (2019), que estimou uma viscosidade cinemática de 37,07 mm²/s, e por Martinez (2019) cuja viscosidade determinada foi 60,5 mm²/s. Além disso, a viscosidade foi superior aos valores indicados para produção de biodiesel cuja faixa deve estar entre 3,0-6,0 mm²/s, mesmo para o óleo após o processo de refino. Segundo Medeiros (2017), a viscosidade elevada pode ser atribuída à presença de impurezas no óleo bruto e, em certos casos, pela formação de emulsão entre água e óleo na etapa de tratamento do óleo, após o refino químico, ou na estocagem do mesmo.

Comparando os resultados obtidos para o teor de ácidos graxos livres (AGL) dos óleos brutos, constatou-se que o óleo extraído na segunda coleta das vísceras apresentou valor superior às demais amostras, com 10,5 % em AGL. Essa diferença nos índices de AGL em função da metodologia de extração aplicada, deve-se provavelmente à hidrólise parcial dos lipídios na armazenagem, devido à presença de umidade nas amostras coletadas, o qual ocasiona a geração de acidez no meio, acelerando a reação de hidrólise. Carvalho (2016) obteve 56.9 % de AGL para o óleo bruto de vísceras de tilápias. Em concordância com Lorepena (2015) a determinação do % de AGL feitas, na temporada de verão, assemelha com os resultados obtidos no presente trabalho, onde determinou a % de AGL para o óleo bruto de vísceras de tilápias pela extração por aquecimento com valor de 9,7%.

Na % de AGL dos óleos refinados, o valor mais elevado foi obtido para o óleo resultante da última coleta 0,9%, cujo valor foi próximo ao observado por Silva (2012), na metodologia de extração a quente aplicado. Comparando com o estudo feita por Lorepena (2015) em relação ao estimado da % AGL do óleo refinado, encontrou-se que a análise feita na temporada de verão apresentou 5,1 % em AGL.

Os valores encontrados para o ponto de nuvem, uma média de 15,2°C para o óleo bruto e para o óleo refinado com média de 14,0°C, encontram-se dentro do limite estabelecido pela ANP, que é de 19°C utilizada nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e no estado da Bahia (PONTE, 2010). Os resultados do índice de refração para os óleos bruto

e refinado, não apresentaram diferenças significativas, resultando no valor médio de 1,44.

5.4 PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Durante a reação de transesterificação, observou-se a formação de emulsão entre o biodiesel e a glicerina, impedindo a separação das fases, por decantação. De acordo com Machado (2015) e Ribeiros (2013), uma maneira de promover a quebra da emulsão formada e promover a separação do biodiesel é a adição de glicerina pura. Machado (2015) também ressaltou em seu trabalho outras alternativas que podem ser utilizadas para evitar a formação de emulsão entre o biodiesel e glicerina. Uma dessas alternativas é a utilização do metanol (metanol : etanol = 1:1, v/v), quando é utilizada o processo de transesterificação pela rota etílica.

Lobo (2013), expressa em seu trabalho que o uso do etanol para o processo de transesterificação, apresenta uma desvantagem, dado que promove a dispersão da glicerina no biodiesel, dificultando a sua separação. Além disso, quando é utilizado metanol na transesterificação a razão molar comumente empregada é 6:1 álcool/óleo, enquanto que para o etanol a razão é de 9:1 a 12:1 álcool/óleo. No presente trabalho, foi utilizada a razão 6:1 álcool/óleo, uma proporção menor em relação ao indicado por Lobo (2013).

Os rendimentos do biodiesel no processo de transesterificação pela rota etílica sem purificar, isto é, anterior aos processos de lavagem e secagem, para os óleos extraídos por diferentes metodologias, são mostrados na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Rendimento do biodiesel sem purificar

Coleta	Volume de Biodiesel obtido (mL)	Rendimento (%)
1	118	80,1
2	166	81,5
3	226	85,3
	Média (%)	82,3 ± 2

Fonte: Autor, 2022.

Pode-se observar que a produção do biodiesel alcançou melhor rendimento para a coleta 3 com 85,3% de eficiência, e uma média de 82,3% em relação as três coletas em estudo.

Durante a purificação do biodiesel, foi observado a formação de sabão, pela

presença de catalisador básico e de ácidos graxos ainda presentes. Para o biodiesel resultante do óleo da coleta 3, constatou-se a maior produção de sabão mediante a separação por centrifugação, resultado atribuído ao alto valor de % AGL de ácidos graxos livres, o que pode ter causado a queda no rendimento do processo de transesterificação (Tabela 11), em comparação com os rendimentos obtidos das coletas 1 e 2. Esse resultado destaca a importância de trabalhar óleos com % AGL muito baixos.

O rendimento obtido na reação de transesterificação pela rota etílica, é apresentado na Tabela 11, onde são mostrados os parâmetros da coleta 1, coleta2 e coleta 3 alcançadas.

Tabela 11 - Rendimento do biodiesel no processo de transesterificação pela rota etílica

Coleta	Volume de Biodiesel obtido (mL)	Rendimento (%)
1	116	78,9
2	158	77,2
3	195	73,6
	Media (%)	76,6 ± 2

Fonte: Autor, 2022.

Os resultados do rendimento do biodiesel foram comparados com os resultados de Carvalho (2016), que alcançou um valor médio de 73 %, e o trabalho feito por Martinez (2019), onde foi estabelecido um valor de 78% em rendimento, na produção do biodiesel vindo da transesterificação pela rota metílica e etílica com catalisador de NaOH. Comparando os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se que para o biodiesel, o rendimento médio foi de 76,6%, valor superior ao observado por Carvalho (2016), mas inferior ao indicado por Martinez (2019).

5.5 CARATERIZAÇÃO DO BIODIESEL OBTIDO.

As amostras de biodiesel foram submetidas a análises físico-químicas para avaliar a qualidade e viabilidade do biodiesel em relação aos parâmetros definidos pela ANP denotadas na Tabela 4, os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Caracterização do Biodiesel processado

Parâmetros	Unidades	Biodiesel Processado			
		Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Media
Densidade a 20°C	kg/m ³	895,6	886,8	877,9	886,8
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	5,45	6,60	7,01	7,35
Índice de Acidez	% de ácido oleico	0,20	0,25	0,28	0,24
Ponto de nuvem	°C	14,6	15,1	15,0	14,9
Índice de Refração	a 25°C	1,44	1,44	1,44	1,44

Fonte: Autor, 2022.

Analisando a Tabela 12, pode-se concluir que os resultados obtidos se aproximam aos parâmetros estabelecidos pela ANP e mostradas na Tabela 4.

Para a viscosidade, os valores encontrados foram superiores ao valor indicado pela ANP, que estabelece como limites para a viscosidade 3,5 a 5,0 mm²/s. O biodiesel resultante da última coleta apresentou o valor mais elevado, 7,01 mm²/s. Martinez (2019) também obteve valores fora dos limites estabelecidos pela ANP, um valor de 8,4 mm²/s, e fez a observação que os resultados da alta viscosidade obtida pode ser causada pelas condições do processo de transesterificação.

Observando os valores de índice de acidez obtidos do biodiesel estudado, a coleta 3 apresentou o valor mais alto com 0,277 % de ácido oleico (0,551 mg KOH/g), o qual se encontra fora do limite permitida pela ANP expressa em 0,5 mg KOH/g (ou 0,2513 % em ácido oleico), as outras coletas obtiveram índices satisfatórios. Mota (2019) e Silva (2012) obtiveram valores muito baixos de índice de acidez, 0,114 % em ácido oleico (0,226 mg KOH/g) e 0,073 % de ácido oleico (0,1455 mg KOH/g), respectivamente.

De acordo com o Biodiesel Education (2015), o ponto de nuvem para gorduras de animais varia entre 12°C e 17°C, atribuído à presença de impurezas como glicerina livre, monoglicerídeos e matéria-prima com alta fração de saturados contidas no biodiesel, que cristalizam a temperatura mais. Observou-se com os biodieseis obtidos das três coletas, uma média de 14,9°C, dentro dos parâmetros estabelecido para biodiesel produzido a partir de gordura animal.

Nos resultados obtidos do índice de refração, não foram identificadas diferenças significativas entre os valores de cada coleta. Santos (2019), em seu trabalho

sobre a produção de biodiesel a partir de gordura suína e sebo bovino por meio da reação de esterificação metílica, não observou uma variação significativa no índice de refração em função da gordura utilizada, com valor de 1,4407 utilizando gordura suína e para sebo bovino o valor 1,4419.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados da produção de óleo de vísceras de tilápias obteve-se um melhor rendimento com o uso da metodologia de extração sem diluição (coleta 2), resultando em 32,4% em rendimento. Os resultados estão de acordo com o esperado, pois como foi observado, a utilização da centrífuga estimula uma melhor separação do óleo, resultando em um melhor rendimento, em comparação com as outras extrações feitas utilizando como método de separação o processo de decantação. As caracterizações físico-químicas realizadas para os óleos brutos e refinados, evidenciaram que estes cumprem os requisitos de qualidade exigidos para óleos vindo de gorduras de animais, por mais que alguns valores, como o teor de ácidos graxos livres para óleos brutos em cada coleta, apresentarem valores elevados que durante o processo de refino, resultou em perdas de óleo, devido ao procedimento de neutralização empregado.

O biodiesel produzido a partir da transesterificação pela rota alcalina, evidenciou que é possível a produção dos ésteres a partir do óleo extraído das vísceras de tilápias, dado um rendimento de 76,6%, com densidade média igual a 886,8 kg/m³, um índice de acidez com valor 0,243 % em ácido oleico (0,484 mg KOH/g), ponto de nuvem com 14,9°C e o índice de refração entre 1,473. Os valores de viscosidade obtidos, 5,45; 6,60 e 7,01 mm²/s, para as extrações com diluição, sem diluição e com aquecimento, respectivamente, mesmo superiores ao valor estabelecido pela ANP, apresentou um resultado muito maior, resultante pelo equipamento utilizado para aquecer as amostras, o qual dificultou a leitura do termômetro contida no óleo e conectado pelo viscosímetro, assim tendo leituras muito variadas na hora da medição.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Utilizar a centrifuga em laboratório em todo os processos de separação de fases ou decantação para otimizar o rendimento do processo e reduzir o tempo de processo.
- ✓ Realizar o processo de esterificação ácida utilizando como catalisador ácido sulfúrico, quanto é utilizado matéria-prima vindo de gordura de animais e apresentam AGL > 2%, antes da transesterificação pela rota alcalina.
- ✓ Analisar os demais parâmetros de qualidade definidos pela ANP, tanto para os óleos como para os biodieseis em estudo.
- ✓ Usar outras alternativas propostas para a quebra de emulsão e avaliar qual método é mais economicamente viável.

REFERÊNCIAS

ATLAS, INTER-AMERICAN INSTITUTE FOR CO-OPERATION IN AGRICULTURE. **Atlas de la agro energía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel**. IICA, San Jose, Costa Rica, 2010.

BALLESTEROS, HO Benavides; A., G. L. **Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático**. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2007.

BIODIESEL EDUCATION. **Biodiesel Cloud Point**. University of Idaho, 2015. 1 vídeo (4:06 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cxrkbYaFwlg>. Acesso em 12/02/2022.

CARDOSO, Luana da Costa. **Caracterização de óleo de peixe e potencial de produção de biodiesel**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. 2017.

CARVALHO, GUILHERME C. **Potencial do óleo extraído de resíduos da filetagem de tilápia (*oreochromis niloticus*) para produção de biodiesel**. Mina Gerais, Universidade Federal de Lavras, 2016.

CASTRO M., Claudia; Beltrán A., L. I.; O. O., J. C. **Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética**. Ra Ximhai, universidad Autónomas Indígena de México, 2012. Vol. 8, no 3b, p. 93-100.

CHRISTOFF, PAULO. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento–LACTEC Instituto De Engenharia Do Paraná–IEP. Curitiba, 2006.

CONTRERAS, CLAUDIA C. **Propuesta de un método para la neutralización química del aceite de soya crudo desgomado utilizando solución de silicato de sodio**. 2006, Disponível em: <<<https://pt.scribd.com/document/520231010/neutralizado-de-soya>>>. Acesso em: 20/01/2022.

DORS, GINIANI. **Controle de Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais**. Disponível em: <<<http://labgraos.com.br/manager/uploads/arquivo/qualidade-de-oleos-e-gorduras---profa-giniani-dors.pdf>>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FAO, Organizacao das Nacoes Unidas para a alimentaçao e a Agricultura. **Novo relatório da FAO aponta que produção da pesca e aquicultura no Brasil deve crescer mais de 100% até 2025**. 2016. Disponível em: << <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/423722/> >>. Acesso em: 30 jan 2022.

FELTES, Maria, et al. **Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, campina grande, 2010. Vol. 14, no 6, p. 669-677.

FOLEY, Jonathan, **The Three Most Important Graphs in Climate Change**. 2020. Disponível em: <<<https://globalecoguy.org/the-three-most-important-graphs-in-climate-change-e64d3f4ed76>>>. Acesso em: 22 jan 2022.

GAIO, Glenda R. de S., **Produção de biodiesel etílico com NaOH de óleo residual de fritura da coleta seletiva de Foz do Iguaçu/pr**, Foz do Iguazu, UNILA, 2019.

GUERRERO, Peña, A. et al. **Optimización de la síntesis de biodiésel a partir de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq)**. Agro-ciencia, México, 2013. v. 47, n. 7, p. 649-659.

HASAN, M. M.; RAHMAN, Md Mustafizur. **Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. v. 74, p. 938-948.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/ppm - pesquisa da pecuária municipal. Dados da SIDRA, 2020. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020> >. Acesso em: 30 jan. 2022.

KUBITZA, Fernando. **A Evolução da Tilapicultura no Brasil**. Edição 76, Panorama da aquicultura, 2018.

LÔBO, Ivon Pinheiro; F., S. et, al. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. Química nova, 2009. vol. 32, no 6, p. 1596-1608.

LOPERENA, Jesús A. R et al. **Evaluación fisicoquímica del aceite crudo y refinado obtenido de las vísceras de bocachico (*prochilodus magdalenae*) y tilapia plateada (*oreochromis niloticus*)**. Revista Politécnica, 2015. v. 11, n. 21, p. 19-28.

MACHADO, Letícia C. et al. **Separação de emulsão biodiesel/glicerol por microondas**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, 2015. v. 2, n. 3, p. 81-94.

MARTÍNEZ, Andrés., et al. **Elaboración y caracterización de biodiesel como energía alternativa a partir de aceite de pescado**. Asistencia de investigación, Tesis de Licenciatura. Universidade de Ibagué. 2019.

MACIEL, Erika; G, J. et. al. **Recomendações Técnicas para o processamento da Tilápia**. Embrapa Meio Norte, Teresina, Piauí, 2012.

MEDEIROS, Elias F.; E., B, et al. **Propriedade físico química do óleo de vísceras de corvina *Cynoscion virescens***. Acta of Fisheries and Aquatic Resources, 2017. v. 5, n. 2, p. i-iv.

MENEGAZZO, M. **Produção e caracterização de biodiesel obtido via Rota etílica a partir de óleo bruto de resíduos de Pescado**. Teses Doutoral, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil, 2012.

MILANEZ, Artur Y., et al. **Potencial e barreiras para a exportação de carne de tilápias pelo Brasil**. Embrapa Pesca e Aquicultura-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2019.

MOTA, Francisco Assis, et al. **Desenvolvimento de uma unidade piloto destinada a extração do óleo de vísceras de tilápia para posterior utilização na cadeia produtiva de biodiesel**. REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS, 2014, vol. 4, no 3, p. 1252-1269.

MOTA, Francisco; C. F. J. T.; B., G. A. **The Nile tilapia viscera oil extraction for biodiesel production in Brazil: An economic analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, vol. 108, p. 1-10.

ONU. **Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020**. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2020. Disponível em: <<<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESS.pdf?sequence=35>>>. Acesso em: 27 jan 2022.

PALERMO. **Biodiesel - Biocombustível líquido de origem biológica (vegetal ou animal)**, 2008. Disponível em: <<https://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2022.

PEIXE BR. **Anuário Peixe Br da piscicultura brasileira 2018**. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura, 2018. Disponível em: <<<https://www.embrapa.br/cim-centro-de-inteligencia-e-mercado-em-aquicultura/publicacoes/anuario-peixebr-da-piscicultura>>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

PÉREZ, Milagros; S., M. I.; M., E. **Crecimiento de las tilapias Oreochromis niloticus en cultivo Monosexual y Ambos sexos, en sistemas de producción semi-intensivos**. Universitas (León). Revista Científica de la UNAN-León., v. 6, n. 1, p. 72-79, 2015.

PINEDO, ANDREA. **Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual**. Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química Módulo: Química Analítica. 2013.

PONTES, Andréa S, et al. **Influência da temperatura nas propriedades das blendas diesel/biodiesel de óleo de peixe**. In: Embrapa Algodão-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, Campina Grande, 2010.

RATHMANN, Régis et al. **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira**. II Seminário de Gestão de Negócios, 2005. v. 1.

REIS, Elton F. dos et al. **Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2013. v. 17, p. 565-571.

RIBEIROS, Pabline G; C, A., et al **Produção do biodiesel em laboratório: uma abordagem sistematizada e contextualizada com aplicação de minicurso**. 2013. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/9626.htm>>>. Acesso em: 21 jan. 2022.

SANTOS, Bruno M. B. et al. **Estudo comparativo da produção do biodiesel a partir da gordura suína e do sebo bovino via reações de transesterificação metílica**. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2019.

SILVA, Fredson Vieira et al. **Características morfométricas, rendimentos de carcaça, filé, vísceras e resíduos em tilápias-do-nilo em diferentes faixas de peso**. Revista Brasileira de Zootecnia, 2009. p. p.1407-1412.

SILVA, Yasmine M; A., V. et, al. **Extração e caracterização do óleo de sardinha (*Sardinella brasiliensis*) e óleo de pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) comercializadas em teresina-pi.** CONNEPI, Palmas, 2012.

TEJADA, Candelaria, et al. **Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal.** Luna Azul, 2013, no 36, p. 10-25.

TORRES, Enrique. **FICHA TÉCNICA TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*).** Disponível em: <<
<https://sites.google.com/site/alevinosacuicultura/portada/nuestrosproductos/ficha-tecnica-tilapia-nilotica> >>. Acesso em: 30 jan 2022.

ZAMBRANO, Gamadiel G. et al. **Evaluación de la contaminación del aire por combustión de biodiesel.** DE FATIGA, LOCAL EN TAREAS, Universidad Del Valle de Guatemala, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE ÓLEO BRUTO

Produção de Óleo Bruto					
Itens	Unidades	Parâmetros	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Massa das vísceras descongeladas	g	1	331,5	335,8	342,0
		2	329,0	332,1	350,0
		3	338,1	333,8	335,0
Volume de água para o processamento	mL	1	300,0	0,0	0,0
		2	300,0	0,0	0,0
		3	300,0	0,0	0,0
Massa das vísceras a ser usada no processo	g	1	325,8	335,8	342,0
		2	323,1	332,1	350,0
		3	330,8	333,8	335,0
		Media	326,6	337,97	342,33
Perdida de massa no liquidificador	g	-	5,7	0,0	0,0
Massa de óleo bruto obtido	g	1	87,3	105,5	89,5
		2	88,3	110,0	93,4
		3	90,2	108,7	87,7
		Media	88,6	108,1	90,2
Volume de óleo bruto obtido	mL	1	96,0	116,5	100,0
		2	97,5	120,9	105,0
		3	100,0	119,8	98,5
		Media	97,8	119,1	101,2
Rendimento de óleo	%	1	27,1	31,4	26,1
		2	27,1	33,1	26,7
		3	27,2	32,6	26,2
		Media	27,1	32,4	26,3
Tempo de processamento	min	-	30	30	15
Temperatura de processamento	°C	-	60	60	400
Tempo de decantação	min	-	18	0	0
Tempo na centrifuga	min	-	0	15	0

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE B – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL – CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO, REFINADO E BIODIESEL

Caracterização do Óleo Bruto - Parâmetros Físicos

	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Densidade (g/mL)	0,9102	0,910	0,891
Viscosidade (mm ² /s)	76,483	78,681	82,155
Ponto de nuvem (°C)	14,6	15,3	15,6
Índice de Refração a 25°C	1,4675	1,4683	1,4683

Fonte: Autor, 2022.

Caracterização do Óleo Refinado - Parâmetros Físicos

	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Densidade (g/mL)	0,881	0,898	0,885
Viscosidade (mm ² /s)	77,979	78,842	80,565
Ponto de nuvem (°C)	14,3	14,3	13,5
Índice de Refração a 25°C	1,4669	1,4666	1,4668

Fonte: Autor, 2022.

Caracterização do Biodiesel Refinado - Parâmetros Físicos

	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Densidade (g/mL)	0,8956	0,8868	0,8779
Viscosidade (mm ² /s)	5,45	6,6	7,01
Ponto de nuvem (°C)	14,6	15,1	15,0
Índice de Refração a 25°C	1,4438	1,4433	1,4435

Fonte: Autor, 2022.

CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO- PARÂMETROS QUÍMICOS

Análises	Coleta 1			Coleta 2			Coleta 3		
	1	2	3	1	1	3	1	2	3
m de óleo analisado (g)	1,0199	1,0086	1,0032	1,0052	1,0287	1,0026	1,0046	1,0126	1,0062
V de Eter-etílico (mL)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
V de álcool Etílico (mL)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
V de NaOH gasto (mL)	3,3	3,3	3,3	10,5	8,5	5,25	0,75	0,65	0,4
AGL (%)	6,504	6,576	6,612	10,525	16,608	10,525	1,501	1,290	0,799
Índice de acides (%)	6,560	6,633	6,669	10,616	16,752	10,616	1,514	1,301	0,806
Media do IA (% De Ácido Oleico)	6,621			10,616			1,207		

CARATERIZAÇÃO DO ÓLEO REFINADO – PARÂMETROS QUÍMICOS

Analises	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	m del óleo analisado (g)	1,0175	1,013	1,0158	1,0219	1,0047	1,0113	1,0120	1,001
V de Eter-etílico (mL)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
V de álcool Etílico (mL)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
V de NaOH gasto (mL)	0,1	0,1	0,1	0,25	0,15	0,15	0,5	0,45	0,48
AGL (%)	0,100	0,100	0,100	0,492	0,300	0,298	0,993	0,904	0,950
Índice de acides (%)	0,100	0,101	0,101	0,496	0,303	0,301	1,002	0,911	0,958
Media do IA (% De Ácido Oleico)	0,101			0,366			0,957		

CARATERIZAÇÃO DO BIODIESEL – PARAMETROS QUÍMICOS

Análises	Coleta 1			Coleta 2			Coleta 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
m do Biodiesel (g)	1,0196	1,0431	1,0019	1,0266	1,0155	1,0051	1,0167	1,0021	1,054
V de Eter-etílico (mL)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
V de álcool Etílico (mL)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
V de NaOH gasto (mL)	0,18	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,13	0,14
Índice de acides (%)	0,358	0,194	0,202	0,197	0,200	0,202	0,299	0,263	0,269
Media do IA (% De Ácido Oleico)	0,252			0,200			0,277		

APÊNDICE C – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL - NEUTRALIZAÇÃO DO ÓLEO BRUTO

Processo de Neutralização – Refino do Óleo Bruto					
Itens	Unidades	N°	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Massa de Óleo Bruto	g	1	90,015	101,3	100,01
		2	88.653	100.5	100,15
		3	87.132	121.9	70,40
Massa de NaOH a 16%	g	1	5,968	28,738	3,896
		2	5,878	28,369	3,902
		3	5,428	34,583	2,743
Água para lavagem	mL	-	5	6	6
Número de lavagem	cada/lote	-	5	6	5
Massa de Óleo Refinado	g	1	43,944	56,743	85,256
		2	42,380	53,903	85,375
		3	42,065	66,373	58,875
Perdida de óleo obtida	%	1	51,181	43,985	14,753
		2	52,196	46,365	13,870
		3	51,723	45,551	16,371
Media da perda de óleo	%	-	51,7	45,3	15,0

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE D – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL - PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Produção do Biodiesel					
Itens	Unidades	N°	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
Massa de Óleo Refinado a ser utilizado no processo de transesterificação	g	1	46,210	58,789	77,245
		2	46,350	59,053	76,324
		3	35,605	59,152	76,431
Massa do catalizador KOH	g	1	0,2321	0,2941	0,3920
		2	0,2387	0,2953	0,4153
		3	0,1781	0,2958	0,3867
Massa de álcool etílico para o processo de transesterificação	g	1	15,66	19,83	26,103
		2	15,75	19,92	25,563
		3	12,015	19,95	26,014
Água para lavagem	mL	-	5	5	5
Número de lavagem	cada/lote	-	5	5	5
Volume do Biodiesel obtido	mL	1	43	58	79
		2	43	53	72
		3	32	55	74
Massa do Biodiesel obtido	g	1	37,857	50,380	68,515
		2	36,895	46,241	63,321
		3	28,191	47,623	64,432
Rendimento de Biodiesel sem purificar	%	1	81,5	85,7	88,7
		2	79,6	78,3	82,9
		3	79,2	80,5	84,3
Media da produção de biodiesel	%	-	78.9	77.2	73.6

Fonte: Autor, 2022.