

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

ENGENHARIA QUÍMICA

**IMPACTO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA E A SUA VALORIZAÇÃO PARA A
INDÚSTRIA**

OBED DUCLES

Foz do Iguaçu-PR
29 de março de 2022

OBED DUCLES

**IMPACTO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA E A SUA VALORIZAÇÃO
PARA A INDÚSTRIA**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andreia
Cristina Furtado

Coorientadora: Prof^a. Dr^a Joanna Silva
Santos Albuquerque

Foz do Iguaçu-PR
29 de março de 2022

OBED DUCLES

**IMPACTO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA E A SUA VALORIZAÇÃO
PARA A INDÚSTRIA**

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

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréia Cristina Furtado

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Joanna Silva Santos
Albuquerque

Professora. Dr^a. Renata Braga Soares

Foz do Iguaçu, 29 de março de 2022

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter guiado o meu caminho e me dado força e coragem para a realização deste trabalho.

Aos meus queridos pais, Melus e Marie Violette, a meus irmãos, Peterson, Myrna, e Meviolusta que me apoiaram para eu chegar até o final do curso.

Agradeço às minhas orientadoras pelas dedicadas orientações, confiança, sugestões, paciência e pelos acompanhamentos e incentivos durante todo esse projeto para a conclusão do curso.

Aos meus amigos, colegas de faculdade, e todas as pessoas que têm me incentivado e apoiado para concretizar esse sonho.

Aos professores do curso de Engenharia Química que têm contribuído para a minha formação técnica e humana.

A todos amigos e familiares que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho.

RESUMO

A demanda de alimentos fritos ou pré-fritos, vêm aumentando bastante nessa última década, uma vez que estes são vistos como uma das maneiras mais rápidas de preparo de certos alimentos. Então, com essa mudança de hábitos alimentares, vem crescendo significativamente o volume de óleo residual vindo do processo de frituras. E esses resíduos, quando são descartados inadequadamente, representam grandes riscos de contaminação para a água e o solo. Devido aos danos que o óleo residual pode causar no meio ambiente, têm sido desenvolvidas pesquisas por mecanismos ou processos que diminuam e evitem poluição e contaminação dos recursos naturais. Assim, este presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto do óleo residual de fritura sobre o meio ambiente e, em contrapartida, a sua valorização por meio do seu reaproveitamento ou sua reciclagem. A metodologia foi baseada em um levantamento bibliográfico em que foram selecionados trabalhos que abordaram os impactos ambientais do óleo residual e aqueles que utilizam biodiesel como modo de reaproveitamento, empregando o processo de transesterificação metílica em meio básico. Considerou-se uma mini-usina de biodiesel com capacidade de produção de 20000L/mês. A partir dos resultados obtidos verificou-se que o investimento necessário para montar uma mini-usina com capacidade de 240000L/mês é em torno \$94500. Este valor de investimento apresenta-se como uma proposta economicamente viável com um tempo de retorno (Payback) aproximadamente a 3,4 anos. Além de economicamente viável, a mini-usina é considerada como um ganho ambiental também, pois trata-se de um processo sustentável onde será retirado de circulação um resíduo altamente poluente.

Palavras-chave: Biodiesel. Óleo residual de fritura. Sustentabilidade. Transesterificação.

ABSTRACT

The demand for fried or pre-fried foods has increased significantly in the last decade, since these are seen as one of the fastest ways to prepare certain foods. So, with this change in eating habits, the volume of residual oil from the frying process has been growing significantly. And these residues, when improperly disposed of, pose great risks of contamination to water and soil. Due to the damage that residual oil can cause to the environment, research has been carried out on mechanisms or processes that reduce and avoid pollution and contamination of natural resources. Thus, this present work aims to evaluate the impact of residual frying oil on the environment and, on the other hand, its valorization through its reuse or recycling. The methodology was based on a bibliographic survey in which works were selected that addressed the environmental impacts of residual oil and those that use biodiesel as a method of reuse, using the process of methyl transesterification in a basic medium. A biodiesel mini-plant with a production capacity of 20000L/month was considered. From the results obtained, it was found that the investment required to set up a mini-plant with a capacity of 240000L/year is around \$94500. This investment value is presented as an economically viable proposal with a payback time of approximately 3,4 years. In addition to being economically viable, the mini-plant is also considered an environmental gain, as it is a sustainable process where a highly polluting waste will be removed from circulation.

Keywords: Residual frying oil. Biodiesel. Sustainability. Transesterification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Mundial de óleos vegetais 2010/11	14
Figura 2: Fluxograma das etapas de preparação dos grãos para a extração de óleo vegetal	15
Figura 3: Prensa contínua ou expeller	16
Figura 4: Fluxograma de um sistema de extração por solvente	17
Figura 5: Alguns ésteres derivados da glicerina presentes em óleos e gorduras	18
Figura 6: Compostos não lipídicos presentes em óleos e gorduras	19
Figura 7: As diferentes cores de um óleo usado	20
Figura 8: Diagrama das alterações ocorridas no óleo de fritura	21
Figura 9: Reação de saponificação	26
Figura 10: Representação da molécula de sabão	26
Figura 11: Posição mundial do Brasil na produção do Biocombustível	28
Figura 12: Fluxograma de atividades	29
Figura 13: Fluxograma demonstrando a geração e destino de óleos de fritura usados	31
Figura 14: Processos logísticos diretos e reversos	32
Figura 15: Pré-tratamento de óleo residual de fritura	36
Figura 16: Processo de produção de biodiesel	38
Figura 17: Mecanismo de transesterificação de óleo residual vegetal em meio alcalino	39
Figura 18: Mecanismo de reação de transesterificação de triglicerídeo em meio ácido	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição de ácidos graxos do óleo de soja	19
Tabela 2: Parâmetros de óleo residual de soja para produção de Biodiesel	34
Tabela 3: Características do biodiesel estabelecidas pela ANP e EN14214	42
Tabela 4: Especificações de alguns tipos de óleos vegetais e do óleo diesel convencional	43
Tabela 5: Dados e preços para óleo de soja refinado	44
Tabela 6: Dados e preços para óleo de soja residual	44
Tabela 7: Estimativa da quantidade de biodiesel produzida a partir de óleo residual de fritura	45
Tabela 8: Capacidade total de equipamentos da planta e os seus preços	45
Tabela 9: Custo fixo de implementação da mini-usina	46
Tabela 10: Custo mensal de operação da planta	47
Tabela 11: Receita anual da mini-usina	47
Tabela 12: Previsão de lucro	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICATIVA	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1. DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS	14
4.2. TIPOLOGIA DE RESÍDUOS E SUA ORIGEM	14
4.3. GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS	14
4.4. ÓLEO VEGETAL	15
4.4.1. Preparação da matéria prima	16
4.4.2. Extração de óleo vegetal por prensagem	17
4.4.3. Extração de óleo por solvente	18
4.4.4. Características dos óleos e gorduras	19
4.5. ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA	22
4.5.1. Aspecto jurídico sobre óleo residual de fritura	24
4.6. VALORIZAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA	27
4.6.1 Saponificação	27
4.6.2. Produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura	29
5. MATERIAIS E MÉTODOS	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
6.1. FONTE GERADORA E DESTINO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA	32
6.1.1. Logística reversa do óleo residual de fritura	34
6.1.2. Impacto dos óleos residuais de fritura	35

6.2. CARACTERIZAÇÃO DOS ÓLEOS DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL	36
6.2.1. Principais fatores que influenciam o óleo de fritura na obtenção do biodiesel	37
6.3. ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO RESIDUAL	38
6.3.1. Esterificação	38
6.3.2. Neutralização	39
6.3.3. Processo de produção por transesterificação	39
6.3.4. Separação de fases	42
6.3.5. Recuperação e desidratação do álcool	42
6.3.6. Destilação da glicerina	43
6.3.7. Purificação do biodiesel	43
6.4. CARACTERIZAÇÃO DO BIODIESEL PRODUZIDO COM ÓLEO RESIDUAL	43
6.5. BENEFÍCIOS DO USO DE ÓLEO DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DO BIODIESEL	45
6.6. VIABILIDADE ECONÔMICA DO BIODIESEL COM ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA	46
6.7. PROPOSIÇÃO DE ATIVIDADE DE CONSCIENTIZAÇÃO	51
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
8 REFERÊNCIAS	53
ANEXO I	64
ANEXO II	66

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o aumento da população do planeta e com os hábitos de consumo das pessoas durante essas últimas décadas, tem contribuído para o aumento da quantidade de resíduos descartados, muitos de maneira irregular. Hoje em dia, a gestão dos resíduos envolve questões sociais, econômicas e ambientais, principalmente nos países industrializados. E tais discussões levam a cada ano a comunidade científica e a engenharia a procurar soluções para garantir a sobrevivência do ser humano no planeta. Então, consciente desse problema, governos de vários países têm criado leis importantes para integrar um sistema de valorização dos resíduos. No Brasil, a Lei nº 12.305/2010 estabelece uma política de gerenciamento dos resíduos gerados no país e essa lei deve ser cumprida tanto pelo setor público e privado, estando a cargo do gerador do resíduo a responsabilidade pela sua correta destinação final.

Segundo Fiatkoski *et al.* (2020), entre os resíduos orgânicos, o óleo residual de cozinha vem aumentando em quantidade impressionante e esses óleos são de origem domiciliar, industrial, restaurantes, comércio etc. Em 2020, a Associação Brasileira para Sensibilização, Coleta, Reaproveitamento e Reciclagem de Resíduos de Óleo Comestível (ECÓLEO) afirmou que, de 8,791 milhões toneladas de óleo de soja produzidos no Brasil em 2019, somente 1% do óleo usado foi coletado (ECÓLEO, 2019). De acordo com Weyer (2015), apesar de o óleo residual representar uma pequena porcentagem dentre os resíduos orgânicos, o seu impacto ambiental é grande. De acordo com o Programa de Gestão Ambiental (PGA, 2012), do Ministério Público Federal, um litro de óleo é capaz de contaminar um milhão de litros de água, quantidade o bastante para hidratar uma pessoa durante 14 anos.

Nessa última década, a demanda de alimentos fritos ou pré-fritos vêm aumentando bastante. Como diz o ditado popular inglês “*the time is morning*”, então para se adaptar ao mundo capitalista, as pessoas estão simplificando o seu modo de viver e se alimentando cada vez mais com os chamados *fast food* (alimentos rápidos) (LUCAS, 2014). Essa mudança de comportamento promoveu um aumento exponencial da quantidade de óleo e gordura residual (da SILVA JÚNIOR e ARAÚJO, 2018), mas a coleta e o beneficiamento desses resíduos ainda acontecem de maneira tímida, sendo grandes quantidades ainda descartadas inadequadamente (MIGUEL e FRANCO, 2018). Técnicos da área de saneamento relatam que a presença de óleos e gorduras nos sistemas de drenagem e esgoto aumenta em 45% os seus custos de tratamento (BRASIL, 2009). Por sua vez, o despejo de óleo residual

nos cursos de água prejudica as espécies aquáticas, pois a diferença na densidade entre o óleo e a água dificulta as trocas gasosas e promove a diminuição de oxigênio neste meio.

Devido aos danos que o óleo residual pode causar no meio ambiente vem-se desenvolvendo pesquisas por mecanismos ou processos que diminuam e evitem poluição e contaminação dos recursos naturais. Alguns países como Estados Unidos, Singapura, China, África do Sul, Tailândia e os países da União Europeia estabeleceram políticas de reaproveitamento e reciclagem do óleo residual de fritura (VINYES *et al.*, 2012; YONG *et al.*, 2012). Essas novas medidas são adotadas no intuito de proteger a natureza contra a poluição e contaminação, e valorizar esses tipos de resíduos por meio da produção de uma variedade de produtos de valor agregado (RECOIL, 2012; ZUCATTO *et al.*, 2013).

No cenário atual, o óleo de fritura usado tem grande valor industrial, pois a sua composição é rica em glicerídeos e em ácidos graxos livres e são considerados como potenciais fontes energéticas (da SILVA JÚNIOR e ARAÚJO, 2018). Os óleos residuais de fritura podem ser transformados em diversos produtos como biocombustível, cosméticos, tintas, etc. Segundo Miguel (2014), o descarte adequado do óleo residual gera emprego e renda, pois é necessária a motivação das pessoas para fazer a coleta e mão de obra nas indústrias que transformam esses resíduos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa uma revisão bibliográfica sistemática a fim de avaliar o impacto do óleo residual de fritura sobre o meio ambiente e, em contrapartida, a sua valorização por meio do seu reaproveitamento ou sua reciclagem.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos temos:

- Estudar as características do óleo residual de fritura.
- Investigar a destinação do óleo residual de fritura.
- Buscar alternativas sustentáveis para o reaproveitamento e a reciclagem do óleo residual de fritura.
- Avaliar a viabilidade de produzir biodiesel a partir do óleo residual de fritura

- Propor atividades de conscientização ambiental para as crianças da educação básica.

3. JUSTIFICATIVA

Os óleos de frituras são formados essencialmente de gordura de origem vegetal, encontrados no estado líquido à temperatura ambiente (20°C). Devido às altas temperaturas que os óleos são sujeitos na fritura fazem que eles sofram modificações rápidas e muito complexas que podem causar problemas tanto ao nível nutritivo quanto ao nível da saúde humana (ASAE, 2017). O resíduo de óleo de fritura, produzido quotidianamente nos lares, indústrias e estabelecimentos é lançado diretamente nos rios, em pias e vasos sanitários devido à falta de informação da população. Esses resíduos quando são despejados nas águas vão parar nos sistemas de esgotos causando problemas nos processos das estações de tratamentos além de contribuir para a poluição do meio aquático (VIERA *et al.*, 2017). Dessa forma o óleo residual de fritura pode ser utilizado como matéria-prima para obter vários produtos como tintas, sabão, detergentes, biodiesel entre outros (Da COSTA *et al.*, 2015). Atualmente no Brasil o reuso de óleo residual, principalmente de soja, é utilizado para produzir o biodiesel. O biodiesel é um produto sustentável e apresenta características lubrificantes melhores que o combustível diesel. Conforme Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o biodiesel oferece melhor desempenho na lubrificação e a combustão é mais completa, assim aumentando a produção de energia do motor e compensando a maior densidade de energia do diesel. O uso de óleo de fritura para produção de biodiesel traz inúmeros benefícios para o ambiente e para a sociedade. Segundo Viera *et al.* (2017), o reaproveitamento de óleo de fritura usado, além de evitar a poluição do planeta também serve para evitar gastos de recursos escassos, tais como os ambientais, humanos, financeiros e econômicos.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa parte mostra os temas dominantes da seção de revisão bibliográfica, relacionando os principais itens abordados no desenvolvimento do trabalho.

4.1. DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS

Segundo Lucas De Lima (2014), o resíduo é considerado como toda parte que sobra de um determinado produto seja sua embalagem, casca ou outros derivados produtivos vindos de matéria orgânica, o lixo doméstico, os efluentes industriais e os gases liberados em processos industriais ou por motores. Em outras palavras, todos os resíduos não podem ser considerados como elementos inúteis, pois muitos são recicláveis e possuem grande valor econômico (RODRIGUES E SANTANA, 2012).

4.2. TIPOLOGIA DE RESÍDUOS E SUA ORIGEM

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10004/04, existem vários tipos de resíduos e estes são subdivididos quanto à sua natureza. Entre eles, pode-se citar:

i) Resíduos sólidos: são formados de destroços combustíveis e não combustíveis como papéis, caixas, madeiras, plásticos e outros.

ii) Resíduos líquidos: qualquer descarga de líquido (lixiviado, óleos e gorduras) que pode causar uma certa carga poluente (dissolvida ou coloidal). Esses efluentes possuem componentes orgânicos ou químicos prejudiciais para o meio ambiente.

iii) Resíduos Gasosos: geralmente ar contaminado pelos compostos orgânicos voláteis, pó, compostos nitrosos e sulfurosos, dióxido de carbono ou monóxido de carbono. Alguns efluentes gasosos estão presentes como uma substância pura ou mista contendo muito pouco ou nenhum ar. É o caso em particular do metano produzido pela biodegradação anaeróbia de resíduos orgânicos.

4.3. GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS

Conforme Neves da Silva (2014) é importante saber diferenciar gestão e gerenciamento de resíduos. Na concepção do autor, a gestão de resíduos abrange mais a parte estratégica. A tomada de decisão de quais serão os princípios, as diretrizes e metas. Já que o gerenciamento refere-se a um conjunto significativo de normas, de operações, de ações financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, baseado em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor o lixo do município. Monteiro da Rocha *et al.* (2017), afirmaram que a gestão de resíduos deve ser submetida a dinâmicas diferentes de acordo com o tipo do resíduo, lugar, as possibilidades da sua

disposição e a sua reciclagem. Além disso, é responsabilidade de cada localidade utilizar a sua própria estratégia para a gestão dos seus resíduos.

O plano de gerenciamento do óleo residual é um programa que engloba vários setores (social, econômico, político e ambiental) que correspondem com as ações que visam a proteção e preservação ambiental, ou seja, melhoria da qualidade de vida na terra e o desenvolvimento socioeconômico. Segundo Bella (1996, p.49). “[...] obter a satisfação duradoura das necessidades humanas e o crescimento (melhoria) da qualidade de vida”.

É responsabilidade do poder público implementar políticas públicas para incentivar a educação ambiental da população em relação às ações de manejo adequado e destino correto dos resíduos, principalmente do óleo de fritura. Dispõe investimento para a implementação de um plano de coleta seletiva desse resíduo. Conforme *European Biomass Industry Association* (EBIA), 2015, alguns países da União Europeia (EU) se juntaram para criar o RecOil, criaram diferentes formas de coletas através de pontos de entregas de fácil acesso e depois de a coleta usaram esses resíduos para fabricação de biodiesel. Na Austrália, o projeto de gerenciamento é responsável pela empresa de abastecimento de água, instalando caixas interceptoras de graxas e gordura e criando um programa de monitoramento eficaz. No Rio de Janeiro, o Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais (PROVE) foi criado em 2008 para incentivar a criação de cooperativas de coleta seletiva de resíduos sólidos e líquidos (principalmente o resíduo de óleo de cozinha) e a geração de trabalho e renda para os catadores (Rio de Janeiro, 2017). Em São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (Sabesp) em parceria com o projeto de fomento à reciclagem de óleo de fritura (PROL) e com algumas ONG's e cooperativas de catadores criaram pontos de entregas voluntárias desses resíduos nas redes de supermercados, condomínios entre outros para a fabricação de biodiesel, sabão, tintas, massa de vidraceiros etc. (SABESP, 2016).

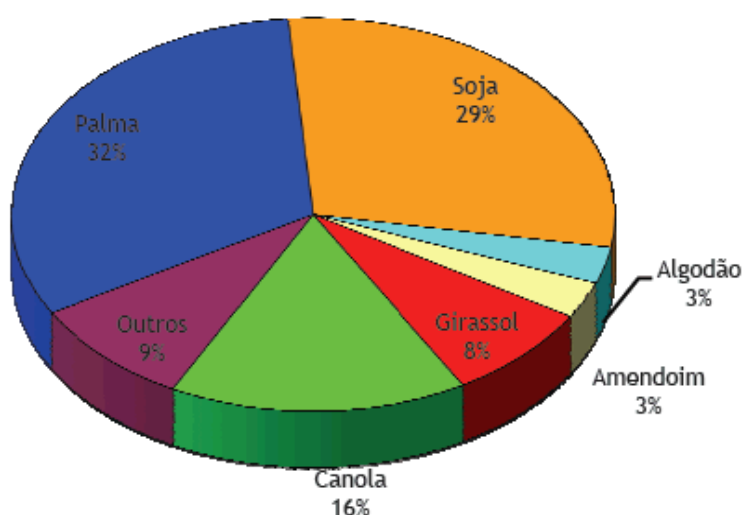
4.4. ÓLEO VEGETAL

A Resolução RDC nº 270, de 22 Setembros de 2005 do Ministério da Saúde adotada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária na qual foi aprovado o Regulamento Técnico Para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal, define óleos e gorduras vegetais como todas as substâncias que contêm principalmente glicerídeos de ácidos graxos de espécies vegetais. Contêm geralmente 99% de lipídeos, sem glicídios, sem protídeos e pouco ou sem colesterol. Algumas vitaminas e antioxidantes lipossolúveis completam o resto de 1% (ASMA e INES, 2019). Os óleos vegetais geralmente são extraídos

a partir de plantas, sementes e grãos tais como linhaça, girassol, palma, buriti, mamona, milho e soja (NEVES DA SILVA, 2013).

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2011), o óleo de palma, ou óleo de dendê, é o mais consumido com uma representação de 32%. A produção é concentrada na Malásia e na Indonésia, os quais respondem por 87% da oferta mundial. O óleo de soja é o segundo mais importante ao representar 29%, com os Estados Unidos na liderança da produção do grão, seguidos pelo Brasil e pela Argentina. O uso de óleo de canola responde por 16% do total mundial e a União Europeia é a principal ofertante, seguida pela China e Canadá (Figura 1). Vale ressaltar que o óleo de soja é a principal oleaginosa produzida no Brasil e representa 95% do mercado do óleo vegetal brasileiro para alimentação humana (OSAKI e BATALHA, 2011).

Figura 1: Consumo Mundial de óleos vegetais 2010/11



Fonte: IEA, 2011

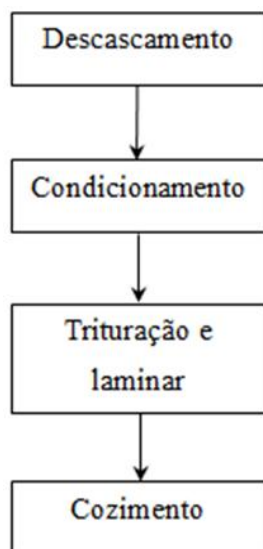
Os processos de extração de óleos vegetais variam dependendo do tipo de matéria prima. Geralmente existem dois métodos para a obtenção do óleo vegetal. Pode-se extraí-lo por pressão ou por solvente (AMAR e SOFIANE, 2016). E vale dizer também que o preparo adequado é uma das etapas mais importantes para obtenção de óleo vegetal.

4.4.1. Preparação da matéria prima

Os grãos selecionados nos campos sofrem uma pré-limpeza antes da armazenagem, isso serve para eliminar as sujeiras mais grossas dos grãos e reduzir os riscos

de contaminação. Como descrito na figura 2, basicamente, a etapa de preparação dos grãos para a extração de óleo vegetal consiste em cinco processos mecânicos.

Figura 2: Fluxograma das etapas de preparação dos grãos para a extração de óleo vegetal



Fonte: Autoria própria, 2022

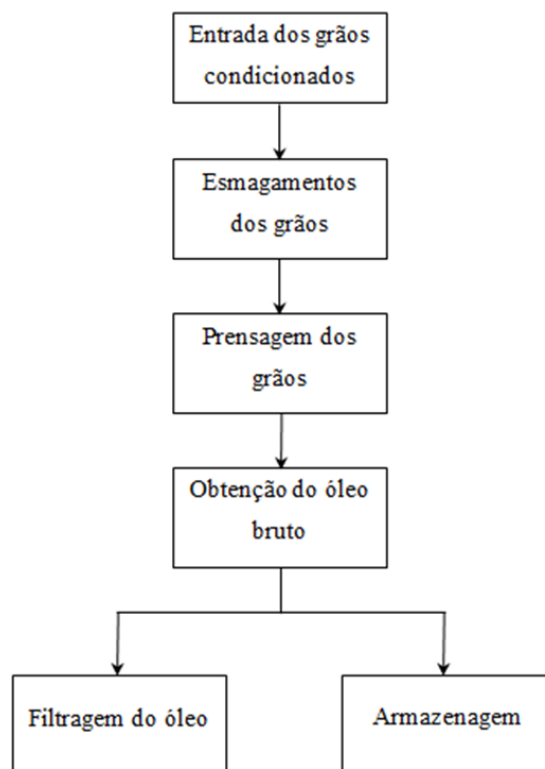
Na etapa de descascamento ocorre a quebra das cascas dos grãos por batedouros ou facas giratórias e a separação dos cotilédones por peneiras vibratórias e insuflação de ar. Na etapa de condicionamento, dependendo da matéria prima os grãos sofrem aquecimento com diferentes temperaturas para reduzir o teor de umidade dos grãos, no caso da soja, o aquecimento ocorre em temperaturas entre 55 °C e 60 °C. Depois do aquecimento dos grãos, vem a etapa de floculação onde os grãos são aglutinados com auxílio de um par de rolos cilíndricos, deixando-os bem finos como papel para facilitar a extração. E na etapa final os grãos são cozidos por meio do calor úmido só para promover uma ruptura adicional nas sementes. A temperatura de cozimento varia de acordo com a semente a ser processada (EMBRAPA, 2015).

4.4.2. Extração de óleo vegetal por prensagem

A extração de óleo por pressão é um processo físico realizado a pressão relativamente alta em prensas contínuas. Nesse método ocorre a obtenção parcial do óleo acompanhado com a extração de solvente orgânico. A pressão elevada no processo tem contribuído nas diferenças de temperaturas, que tem implicação direta na cor e no sabor do óleo (VINEYARD e FREITAS, 2014). Basicamente, o processo de extração de óleo vegetal

por prensa é dividido em 5 etapas (Figura 3) e é muito utilizada em produção de pequena escala.

Figura 3: Prensa contínua ou expeller



Fonte: Autoria própria, 2022

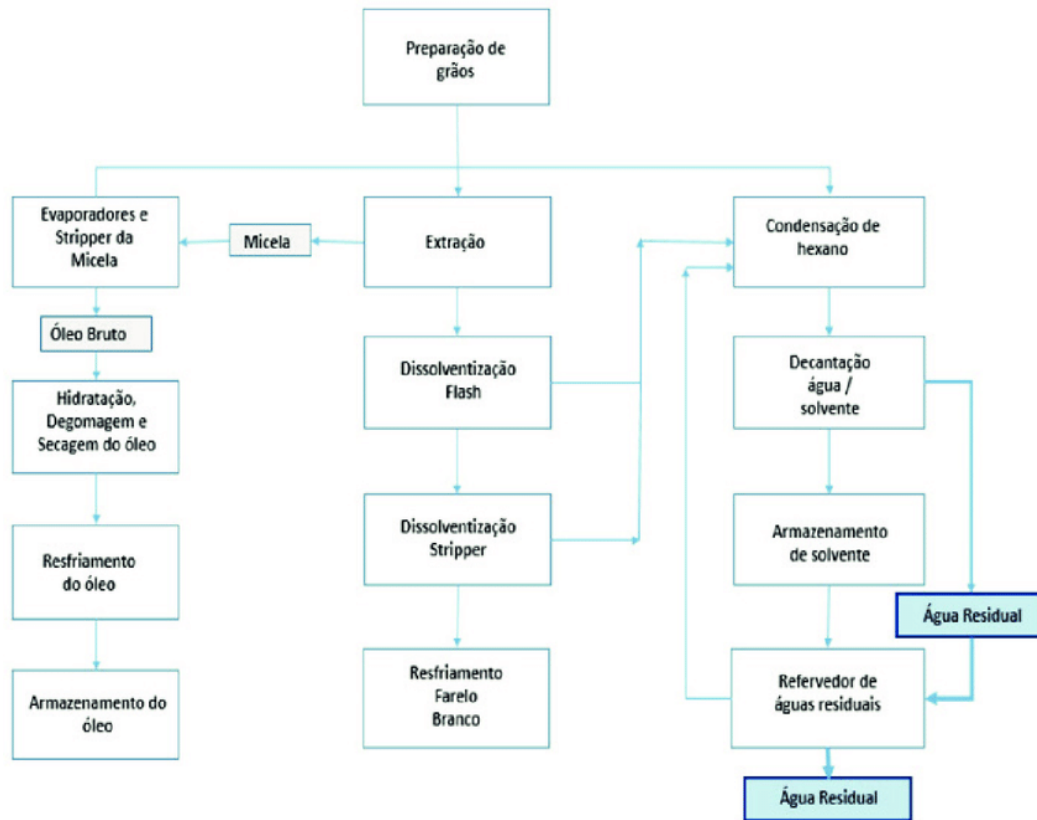
Os grãos são introduzidos na prensa através de um eixo alimentador. A prensa é formada de um cesto que é composto de barras de aço retangulares separadas por lâminas bem reguladas que permitem a saída de óleo e ao mesmo tempo filtram o óleo. A pressão é regulada por meio de um cone na saída e pode alcançar centenas de atmosferas por cm^2 . Na etapa de prensagem a extração do óleo não é completa e a torta pode conter alto teor de óleo residual, o que pode causar rancificação do produto se armazenar por um longo prazo. Vale dizer também que a eficiência de extração depende do equipamento e das condições do processo da matéria-prima (EMBRAPA, 2015).

4.4.3. Extração de óleo por solvente

Neste processo não é empregado prensagem e os grãos após torrados e moídos sofrem diretamente o processo de extração por solvente. O solvente mais utilizado atualmente é o hexano, pois dissolve pouca mucilagem, goma ou pigmento. Ele é pouco

tóxico e o seu ponto de ebulição permanece baixo (RAMALHO e SUAREZ, 2012). Segue abaixo o esquema de um processo de extração de óleo por solvente (Figura 4).

Figura 4: Fluxograma de um sistema de extração por solvente



Fonte: PACHECO *et al*, 2020.

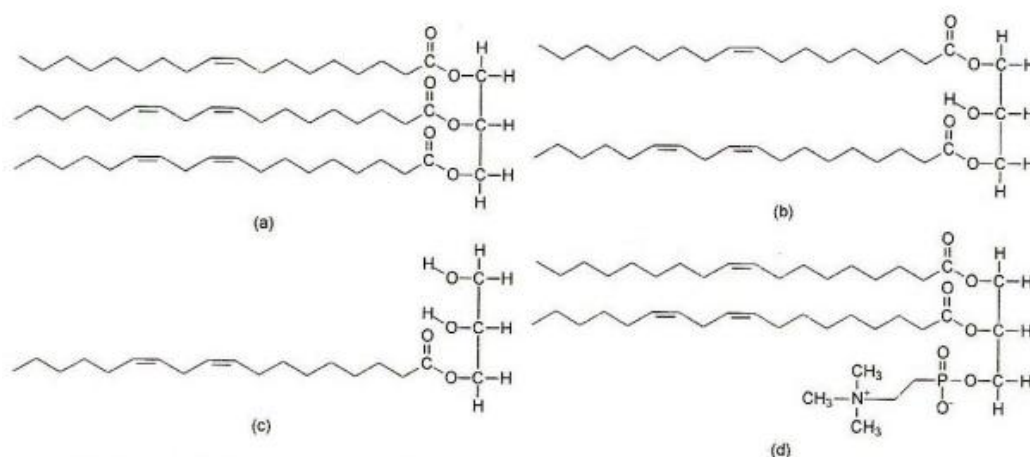
Os flocos entram no extrator e formam uma camada na qual o solvente circula. Os flocos extraídos entram em contato com o hexano puro que entra no extrator e os flocos cheios ainda de ácido graxo entram em contato com a micela gordurosa antes de deixar o extrator. A temperatura de extração é mantida constante a 60 °C para acelerar a difusão do solvente e abaixar a viscosidade da micela. Esses dois parâmetros melhoram a extração, reduzindo o óleo residual no flocos a menos de 5% (DE CARVALHO, 2011).

4.4.4. Características dos óleos e gorduras

Os óleos comestíveis são obtidos a partir dos óleos brutos, que são extraídos geralmente dos grãos de soja, milho, canola, algodão, girassol, palma etc. O óleo vegetal é uma gordura natural e é composto em sua maior parte de triglicerídeos formados por ácidos graxos e uma molécula de glicerol (FUENTES, 2011). Contudo, os óleos e

gorduras são formados principalmente de ácidos graxos que podem ser encontrados livres, ou preferivelmente combinados. Na forma combinada, os seus componentes são essencialmente monoacilglicerídeos, diacilglicerídeos e triacilglicerídeos que são basicamente compostos dos óleos e ácidos graxos (RODRIGUES, 2014). A figura 5 ilustra alguns exemplos de ésteres derivados da glicerina presentes em óleos e gorduras.

Figura 5: Alguns ésteres derivados da glicerina presentes em óleos e gorduras



(a) Triacilglicerídeo; (b) diacilglicerídeo; (c) monoacilglicerídeo; (d) lecitina

Fonte: RAMALHO e SUAREZ, 2012.

Como visto nos parágrafos anteriores, os óleos vegetais são substâncias naturais formados por uma mistura de ésteres derivados de triglicerídeos que são ácidos graxos de longa cadeia de carbonos com diferentes graus de instauração. O óleo de soja é o óleo vegetal mais encontrado nos estabelecimentos comerciais. O óleo de soja é constituído por aproximadamente 99% de triglicerídeos que são formados de 10,2% de ácidos palmítico, 3,7% de esteáricos, 22,8% de oléicos, 53,7% de linoléico e 8,6% delinoléico (Tabela 1). Além dos triglicerídeos contidos no óleo bruto, ainda existem uma porção pequena de não-glicerídicos, tais como fitoesteróis, ceras, carotenóides, tocoferóis e fosfatídeos. Dentre estes, vale destacar os tocoferóis e principalmente, os fosfatídeos. Os tocoferóis são compostos antioxidantes responsáveis pela maior estabilidade de rancidez dos óleos brutos (RAMOS, 2011).

Tabela 1: Composição de ácidos graxos do óleo de soja

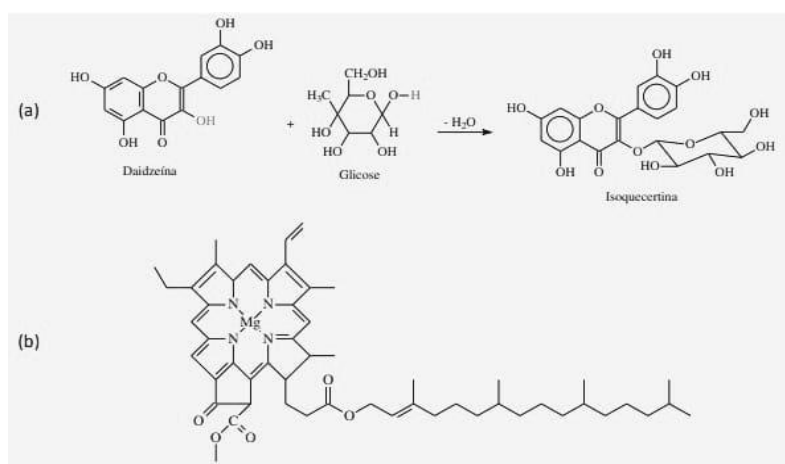
Nº. de carbonos	Ácidos graxos	Concentração (%)
C12:0	láurico	0,1 (máx.)
C14:0	mirístico	0,2 (máx.)
C16:0	palmitico	9,9 - 12,2
C16:1 (9)	palmitoléico	traços-0,2
C18:0	esteárico	3 - 5,4
C18:1 (9)	oléico	17,7 - 26
C18:2 (9,12)	linoléico	49,7 - 56,9
C18:3 (9,12,15)	linolênico	5,5 - 9,5
C20:0	araquídico	0,2 - 0,5
C20:1 (5)	gadoléico	0,1 - 0,3
C22:0	behênico	0,3 - 0,7
C22:1	erúcico	0,3 (máx.)
C24:0	lignocérico	0,4 (máx.)

Fonte: NETO e ROSSI, 2000

Os ácidos graxos são ácidos carboxílicos de cadeia longa, constituídos geralmente de 08 a 24 de átomos de carbono. Quando saturados formam apenas ligações simples e têm pouca reatividade química. Já os ácidos insaturados, possuem uma ou mais ligações duplas na sua cadeia, assim são mais reativos e mais suscetíveis a termo oxidação (SILVEIRA e VIEIRA, 2014).

Embora aproximadamente 90% dos óleos e gorduras sejam formados basicamente de ácidos graxos, eles também são constituídos de outras substâncias lipídicas. Entre essas substâncias podem ser encontrados os esteróis, carotenoides e ceras, entre outros. Podem ser encontradas também nos óleos e nas gorduras algumas substâncias não lipídicas como glicosídeos e isoflavonas que são compostos de condensação de açúcar (Figura 6) (RAMALHO e SUAREZ, 2012).

Figura 6: Compostos não lipídicos presentes em óleos e gorduras



(a) formação de um glicosídeo pela condensação da glicose com daidzeína; (b) -clorofila

Fonte: RAMALHO e SUAREZ, 2012

Vale salientar que os derivados de ácidos graxos não têm cor, odor ou sabor, sendo essas propriedades conferidas pelas impurezas, sendo, assim, características da fonte oleaginosa (RAMALHO e SUAREZ, 2012).

4.5. ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA

A fritura é um processo no qual os alimentos são submersos no óleo, normalmente vegetal (soja, dendê, girassol entre outros) e submetidos a temperaturas altas em torno de 180 °C a 200 °C em contato direto com ar atmosférico (ROSA DA SILVA, 2011). Assim, entende-se por óleo residual de fritura todos resíduos de gorduras, principalmente de origem vegetal, usado durante as operações de fritura destinadas ao consumo humano, na indústria alimentícia, em restaurantes, mas também por indivíduos. Vários fatores podem influenciar o envelhecimento do óleo, o que torna difícil determinar a hora exata para a sua troca. O óleo usado é escuro, espesso ou viscoso na aparência, pode conter depósitos e pode ter um sabor pungente (Figura 7).

Figura 7: As diferentes cores de um óleo usado



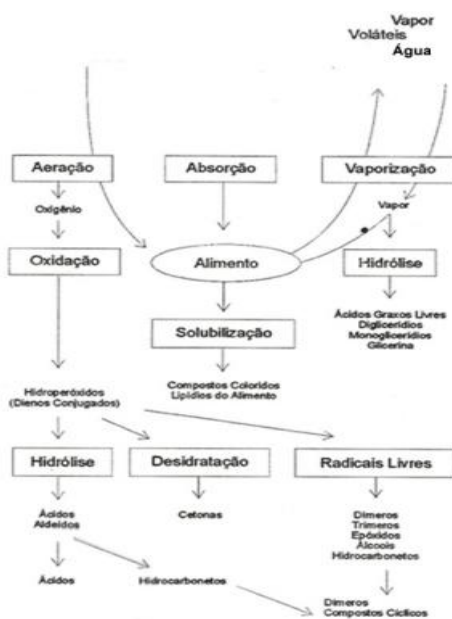
Fonte: CUNHA e TRANCOSO, 2014

Quando os óleos são usados na fritura, sob o efeito da água contida no próprio alimento e ar, o óleo quente sofre transformações químicas levando à formação de compostos polares e diminuição de compostos de interesse nutricional, ao aparecimento de compostos voláteis responsáveis por odores desagradáveis e compostos tóxicos não voláteis em altas doses. Conforme demonstrado na figura 8 todas as reações do óleo na fritura podem ser resumidas em três famílias principais: oxidação, polimerização e hidrólise, sendo mais frequente a oxidação. No processo da oxidação ocorre a formação dos monômeros oxidados,

dímeros e compostos voláteis. Já no processo térmico são formados os monômeros cíclicos e dímeros não polares. E no processo de hidrólise ocorre a formação dos ácidos graxos livres e diglicerídeos (AMAR e SOFIANE, 2016).

O processo da oxidação está associado à reação do oxigênio com ácidos graxos insaturados e ocorre em três fases: iniciação, propagação e término. Na etapa de iniciação ocorre a formação dos radicais livres a partir do ataque de um hidrogênio do carbono da molécula do ácido graxo em condições favorecidas por luz e calor. Na fase de propagação os radicais são espontaneamente susceptíveis ao ataque atmosférico e transformados em outros radicais, formando peróxidos e hidroperóxidos, dienos conjugados, hidróxidos e cetonas, que são os produtos primários da oxidação e que podem se decompor em pequenos fragmentos ou permanecer na molécula do triacilglicerol dimérico e polimérico. A oxidação pode ser favorecida por fatores internos e externos, como luz, presença de metais, calor, contato com oxigênio, entre outros (RIOS; PEREIRA; ABREU, 2013).

Figura 8: Diagrama das alterações ocorridas no óleo de fritura



Fonte: (Adaptado de FRITSCH, 1981)

Geralmente a diferença que existe entre os óleos residuais de vegetais está na quantidade de mono e poli-insaturadas que eles contêm. Por exemplo, o óleo de canola tem uma quantidade de gorduras monoinsaturadas, já os de girassol, soja e milho contêm

mais gorduras poli-insaturadas do que monoinsaturadas, conseqüentemente os seus resíduos são mais ricos em ácidos graxos e glicerol.

4.5.1. Aspecto jurídico sobre óleo residual de fritura

No Brasil existe pouca lei que incentiva os municípios a criar iniciativas específicas para o gerenciamento dos resíduos de óleo de cozinha, ao contrário de alguns países como Alemanha, Estados Unidos, Holanda, Bélgica, Suíça, França, Japão e Chile que já possuem leis de regulamentação de controle de qualidade desses resíduos (NASCIMENTO *et al*, 2018). Como legislação no Brasil temos:

Lei nº14.487 de 19 de Julho 2007: Regulamenta Reciclagem de Óleos e Gorduras de Uso Culinária no Município de São Paulo, determina:

Art. 4º As empresas e entidades a que se refere este decreto poderão instalar, em seus estabelecimentos, Pontos de Entrega Voluntária para recebimento dos resíduos domiciliares de óleo servido entregues pela população.

Art. 5º A fiscalização quanto ao cumprimento do disposto nos artigos 2º e 3º deste decreto incumbirá às Secretarias Municipais da Saúde e do Verde e do Meio Ambiente, por meio dos órgãos de vigilância sanitária e de controle ambiental, no âmbito das respectivas competências, que poderão contar com o apoio dos demais órgãos municipais.

Art. 6º A Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, por meio da Coordenação de Educação Ambiental, desenvolverá o Programa de Conscientização sobre Reciclagem de Óleos e Gorduras de Uso Culinário no Município de São Paulo, mediante a realização de campanhas e ações educativas visando:

I - informar proprietários de empresas e entidades que consomem óleo comestível e a população em geral sobre:

- a) a proibição do lançamento do óleo servido no meio ambiente e a obrigatoriedade da adoção das medidas necessárias para a sua correta destinação final;
- b) os procedimentos adequados e os locais para descarte, recolhimento, reaproveitamento e destinação do óleo servido;
- c) os prejuízos causados ao meio ambiente e à rede coletora de esgoto em caso de descumprimento do disposto no artigo 1º da Lei nº 14.698, de 2008, e no artigo 2º deste decreto;

II - incentivar a realização de coleta voluntária do óleo servido pela população;

III - estimular iniciativas não-governamentais voltadas para o processamento desses resíduos e o desenvolvimento de práticas de reciclagem, com estímulo ao cooperativismo;

IV - a promoção de estudos, cursos e concursos sobre o tema.

Art. 7º Para a implementação do Programa de que trata este decreto, a Administração Municipal poderá firmar convênios ou parcerias com órgãos municipais, estaduais e federais, organizações não-governamentais e instituições privadas.

Art. 8º A destinação do óleo comestível servido utilizado na preparação de alimentos deverá observar as regras estabelecidas na Lei nº 13.725, de 9 de janeiro de 2004 - Código Sanitário do Município de São Paulo, bem como no Regulamento Técnico de Boas Práticas, e as demais normas previstas na legislação vigente.

A Lei 16.393/10 de 02 de fevereiro de 2010, DOE - PR, no estado Paraná-PR, que incentiva a reciclagem do óleo residual de fritura para a produção de biodiesel determina as seguintes providências:

Art. 1º Fica instituído, no Estado do Paraná, o Programa de Incentivo à reciclagem do óleo de cozinha para a produção de Biodiesel, através da desoneração progressiva no pagamento de impostos estaduais.

Art. 2º O programa de que trata o caput do artigo antecedente será efetivado mediante a adoção de medidas estratégicas de controle técnico, com as seguintes finalidades:

I - Não acarretar prejuízos a rede de esgotos;

II - Evitar a poluição dos mananciais;

III - Informar a população quanto aos riscos ambientais causados pelo despejo de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal na rede de esgoto e as vantagens múltiplas dos processos de reciclagem;

IV - Conscientizar e motivar empresários do setor gastronômico da importância de sua participação na reciclagem e destinação final do óleo saturado;

V - Incentivar a prática da reciclagem de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal e uso culinário, doméstico, comercial ou industrial, mediante suporte técnico, incentivo fiscal e concessão de linhas de crédito para pequenas e médias empresas, que operem na área de coleta e reciclagem permanentes;

VI - Favorecer a exploração econômica da reciclagem de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal e de uso culinário, desde a coleta, transporte e

revenda, até os processos industriais de transformação, de maneira a gerar empregos e renda às pequenas e médias empresas;

VII - Criar e incentivar galpões de triagem do Estado do Paraná a incorporarem à reciclagem do óleo saturado e destiná-los a grupos da comunidade para a geração de emprego e renda.

O decreto nº 31.858 de junho de 2010 criado pela lei nº 4.134 de maio de 2008, DOE - DF: Regulamenta a execução do Programa de Tratamento e Reciclagem de Óleos e Gorduras Vegetais ou animais, de uso doméstico ou industrial, utilizados na fritura dos alimentos no âmbito do Distrito Federal. Decreta:

Art. 1º O Programa de Tratamento e Reciclagem de Óleos e Gorduras Vegetais ou animais, de uso doméstico ou industrial, utilizados na fritura dos alimentos no âmbito do Distrito Federal, criado pela Lei nº 4.134, de 05 de maio de 2008, passa a ser denominado Programa RECÓLEO.

Art. 2º A coordenação executiva do Programa RECÓLEO, bem como o gerenciamento das ações a ele pertinentes, são de responsabilidade da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB.

Parágrafo único. A CAESB editará normas específicas para estimular, organizar e viabilizar as ações relativas à recuperação de óleo usado e ao tratamento especial desse resíduo.

Art. 3º As Secretarias, Fundações, Empresas Públicas e Administrações Regionais vinculadas ao Governo do Distrito Federal deverão aderir ao Programa RECÓLEO.

Art. 4º A CAESB criará um programa de incentivo à população do Distrito Federal objetivando a adesão ao Programa RECÓLEO.

§ 1º O incentivo à população poderá ser associado ao valor faturado em suas contas de água/esgoto, na forma de desconto.

§ 2º O desconto poderá ser dado ao próprio usuário do serviço ou por este destinado a uma instituição sem fins lucrativos inscrita no programa RECÓLEO, a título de doação.

Art. 5º O Governo do Distrito Federal - GDF autoriza a CAESB, em parceria com a Secretaria de Estado de Comunicação Social do Distrito Federal, a desenvolver campanhas publicitárias para a promoção do Programa RECÓLEO.

Art. 6º A CAESB poderá explorar economicamente, em conjunto com a iniciativa privada, diretamente ou através de sua subsidiária, a coleta, a estocagem, o processamento do óleo recolhido e sua comercialização, bem como a dos produtos e subprodutos gerados em processos tecnológicos de transformação dessa matéria-prima.

Embora não existam muitas leis estabelecidas sobre o reciclo do óleo residual de cozinha, muitas iniciativas de reciclagem de óleo têm sido desenvolvidas por muitas cidades, por várias escolas e universidades privadas e públicas e tem contribuído positivamente para evitar que esse resíduo tenha uma destinação final inadequada.

4.6. VALORIZAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA

Entende-se pela valorização dos resíduos, o processo pelo qual os materiais considerados como resíduos são recuperados e reintroduzidos na cadeia produtiva, transformando-se em um outro material, com outro uso, dando destinação mais adequada a esses materiais (ENEA, 2020). A valorização de resíduos tem contribuído muito na redução do volume de resíduos no mundo. A reciclagem e reutilização são os dois métodos mais comuns de valorização dos resíduos (SANTOS e LÍVIA, 2017). Vale salientar que até hoje, para muitos o termo reciclagem somente se aplica para matérias e produtos como papel, papelão, metais, plásticos e vidros. No entanto, a valorização de resíduos em escala industrial vai muito além e engloba a capacidade de processar e reaproveitar materiais que, a princípio, eram tidos meramente como detritos ou inservíveis, como despojo de tratamento de efluentes, borras de tinta, óleos usados, aparelhos eletrônicos, borrachas, e inclusive resíduos perigosos (AMBIPAR GROUP, 2021).

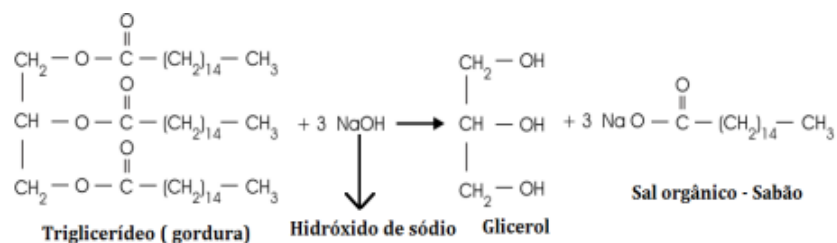
Segundo Dib (2010), o óleo residual mais comum no Brasil provém de soja, normalmente é utilizado para produzir o sabão, mas também é muito empregado atualmente na indústria química e lubrificante para produzir, combustível para caldeira, biogás e principalmente biodiesel. Geralmente no Brasil, as rotas mais utilizadas para o reaproveitamento desse tipo de resíduo são a saponificação e a produção de biodiesel, principalmente exigido pela PNRS.

4.6.1 Saponificação

Como mencionado nos parágrafos anteriores, o óleo e a gordura são substâncias lipídicas, ou seja, substâncias estéricas de ácido carboxílicos chamado de ácidos graxos, contendo o lipídio mais simples e abundante na natureza (triglicerídeo). Com tudo pode se definir que a saponificação é uma reação química que transforma uma mistura de um éster (ácido graxo) e de uma base forte, geralmente potassa cáustica (KOH) em sabão e glicerol (Figura 9) a uma temperatura entre 80 °C e 100 °C. A hidrólise dos ácidos graxos

sob efeito de calor forma glicerol e uma mistura de carboxilato de sódio que produz o sabão (ARAÚJO et al, 2018; SAIDI e SALMI, 2019).

Figura 9: Reação de saponificação

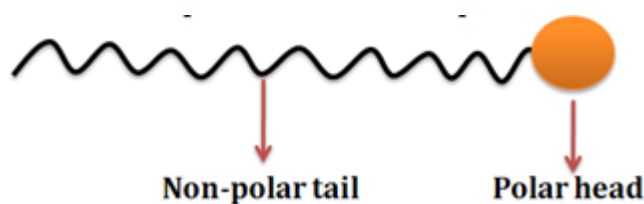


Fonte: BARBOSA, 2011

O sabão obtido com óleo residual é um saneante que possui elevado poder de limpeza e capaz de eliminar sujeira e gorduras por ser tensoativo e possuir propriedade polar e apolar. A parte polar do tensoativo permite uma melhor molhabilidade e se une com a sujeira de mesma polaridade, diminuindo a tensão superficial da água. Já a parte apolar envolve a sujeira oleosa que se encontra espalhada na água (BARBOSA, 2011).

A molécula de sabão tem duas partes: um grupo polar ($-\text{COO}^-\text{Na}^+$) e um grupo apolar (parte R-hidrocarbonetos). O grupo polar é denominado cabeça e o grupo apolar é denominado cauda (Figura 10). Assim, a molécula de sabão tem uma cabeça polar e uma cauda de hidrocarboneto apolar. A cabeça polar é hidrofílica por natureza (amante da água) e a cauda apolar é hidrofóbica por natureza que é repelente à água (OLIVEIRA, 2011).

Figura 10: Representação da molécula de sabão



Fonte: OLABS, 2013

Segundo Saidi e Salmi (2019), existem três maneiras de produzir o sabão: a primeira é a obtenção do sabão frio produzido por saponificação feita na temperatura de fusão das gorduras utilizadas. A segunda é a fabricação de sabão semi-cozido por saponificação realizada a uma temperatura inferior à temperatura de ebulição das gorduras. E

a última maneira, é a fabricação de sabão cozido realizada por saponificação prolongada e que exige diversas manipulações sucessivas.

A fabricação de sabão a partir do óleo residual pode ter natureza doméstica ou industrial, em ambos os casos é possível obter a logística reversa que contribui de forma positiva no ciclo produtivo, visto que, além de contribuir ecologicamente com o meio ambiente é possível transformar algo tido como rejeito em um material de ampla utilização (MACEDO *et al.*, 2017).

4.6.2. Produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura

Uma das tecnologias alternativas de reciclagem de óleo mais empregada é a produção de biodiesel, pois os óleos residuais nas suas composições são ricos em glicerina e em ácidos graxos livres e usando essa rota é possível um reaproveitamento de até 88% da quantidade destes resíduos, sendo 2% matéria sólida, 10% glicerina e 88% éster com valor energético (ROSA Da SILVA, 2011). Geralmente o biodiesel é produzido pela reação de transesterificação na presença de um catalisador ácido ou básico onde o triglicerídeo reage com um álcool de cadeia curta para formar moléculas de ésteres de ácidos graxos e glicerina como subproduto.

Patil *et al.* (2010), realizaram a conversão de óleo residual comestível em biodiesel, utilizando o sulfato férrico e metanol através de transesterificação em duas etapas. Na primeira etapa realizou-se a remoção dos teores de ácidos graxos elevados no óleo, empregando sulfato férrico e na segunda etapa usou-se o metanol para obter o biodiesel com uma taxa de produção de 96%. Em meio ácido a temperatura de 100 °C a reação durou 120 minutos e com a mesma temperatura em meio básico a reação teve uma duração de 60 minutos.

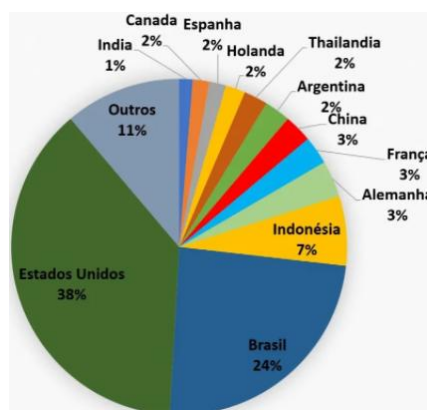
Souza (2013) relatou que a conversão de resíduos de óleo de cozinha em biodiesel em meio básico, usando o catalisador de hidróxido de sódio (NaOH) atingiu um rendimento de 90% de produção de biodiesel em um tempo final de 60 minutos com a aplicação do processo de transesterificação. Enquanto Silva *et al.* (2014) obtiveram uma taxa de conversão de 98% do óleo de soja em biodiesel durante 100 minutos utilizando o processo de transesterificação em duas etapas. Foi utilizado hidróxido de potássio (KOH) como catalisador e o metanol (CH₃OH) como álcool.

Rosa *et al.* (2020), verificaram que com a utilização de transesterificação, utilizando metanol e hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, o rendimento na

produção do biodiesel oriundo de óleo refinado cru de soja foi 4,5% superior ao do óleo residual do processo de fritura de alimento, 93,80% e 89,60% respectivamente. Porém os dois tipos de óleo avaliados mostraram-se com uma ótima conversão em biodiesel. Enquanto os resultados de estudo de conversão de óleo residual de fritura soja de Rodrigues *et al.*, (2018) foram satisfatórios, atingindo uma taxa de conversão de 99,9% onde foi utilizado a transesterificação como método de fabricação em presença de metanol e hidróxido de sódio como catalisador.

Segundo o Centro Nacional das indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis – CEISE (2019), 70% da produção do biodiesel é oriunda do óleo de soja, os outros 20% por com gorduras animais e o restante é proveniente de outras fontes. Afirmou a mesma fonte que somente no ano de 2018, o Brasil produziu 5,3 bilhões de litros de biodiesel. O país atualmente representa o segundo maior potencial na produção mundial de biodiesel, apenas perdendo para os Estados Unidos (Figura 11).

Figura 11: Posição mundial do Brasil na produção do Biocombustível



Fonte: British Petroleum (BP), Statistical Review of World Energy, 2019

A produção do biodiesel a partir do óleo residual é uma das tecnologias alternativas de reciclagem de óleo residual mais utilizado, muito países começam a criar leis sobre o descarte e a coleta, pois o biodiesel demonstra ser uma fonte de energia viável e sustentável sem causar problemas mecânicos aos equipamentos, dadas as suas propriedades semelhantes ao óleo diesel e outros derivados de petróleo. É um combustível de qualidade, proveniente de fontes limpas e renováveis que não possui produtos sulfurados e aromáticos em sua composição e contém alto índice de cetonas e biodegradáveis (BUMBA e YAMAMURA, 2014; CRUZ, 2016). Desta forma um dos focos deste trabalho é analisar a

viabilidade da produção de biodiesel como forma de reaproveitamento de óleo residual de fritura.

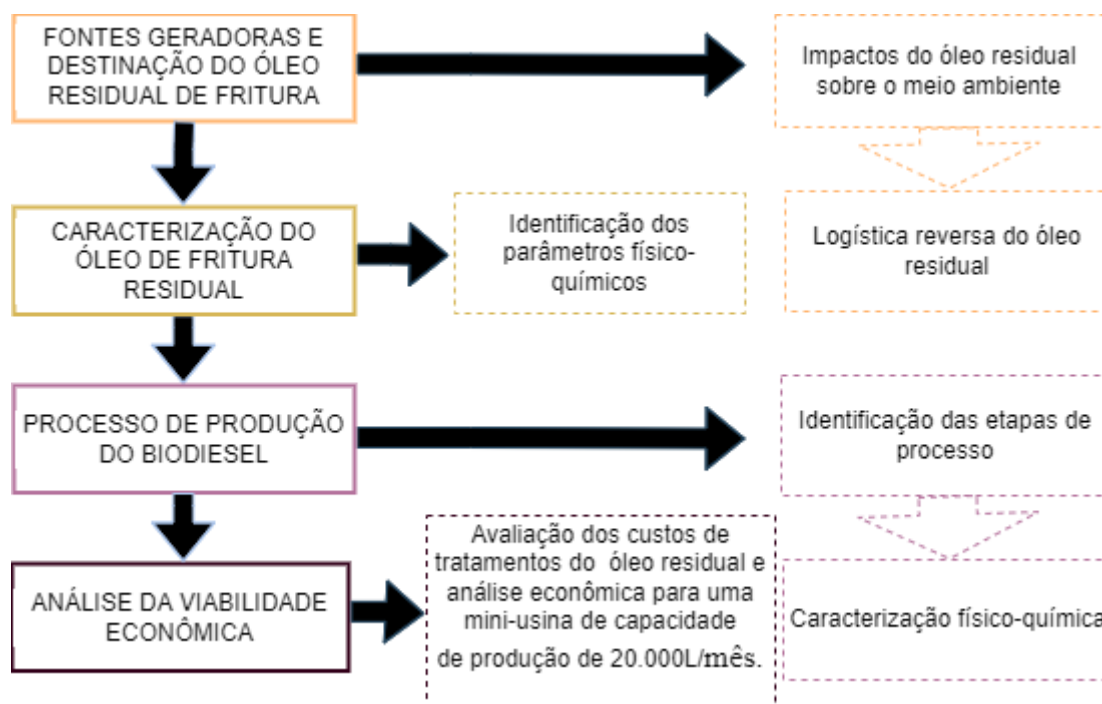
5. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no período de Julho/2021 a Março/2022 a partir de uma revisão bibliográfica baseada nos seguintes sites: Google acadêmico, livros, Portal de periódicos Capes e Elsevier. Para a pesquisa, foram empregadas as seguintes palavras chaves: “valorização do óleo residual de fritura”, “reciclagem de óleo residual de fritura”, “impacto do óleo residual de fritura”, “gestão dos resíduos de óleos vegetais”.

Os fatores de inclusão foram definidos por artigos científicos, excluindo alguns teses e repositórios. Escolheu-se o período de publicação entre 2010 e 2021.

Após uma análise preliminar dos artigos, foram selecionados os trabalhos que abordaram os impactos dos resíduos de óleos vegetais e aqueles que utilizam biodiesel como modo de reciclagem. Assim sendo, tem-se abaixo a Figura 12 que demonstra as etapas de atividades desenvolvidas neste trabalho.

Figura 12: Fluxograma de atividades



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando os conteúdos dos artigos, dos livros e de outros dados selecionados durante a revisão foram estabelecidos 4 pontos principais para desenvolvimento do trabalho:

i) Investigar as fontes geradoras e destinação do óleo residual de fritura, demonstrando o impacto do óleo residual de fritura no meio ambiente;

iii) Caracterizar o óleo residual de fritura conforme as indicações da ANVISA, identificando os parâmetros mais importantes na análise qualitativa da matéria prima para a obtenção do biodiesel;.

iii) Descrever as etapas do processo de produção do biodiesel a partir do óleo residual de fritura com seus respectivos parâmetros, e identificar as propriedades mais importantes na caracterização do biodiesel, considerando os parâmetros estabelecidos pela ANP;

iv) Avaliar a viabilidade econômica da produção do biodiesel a partir do óleo residual para uma mini-usina com capacidade 20.000 litros e os custos de tratamentos desses resíduos, sendo contabilizados a quantidade de insumos utilizados, a quantidade de mão de obra, consumo de energia e custo da matéria prima pela metodologia de Damasceno *et al.* (2018) e Fantinel (2016).

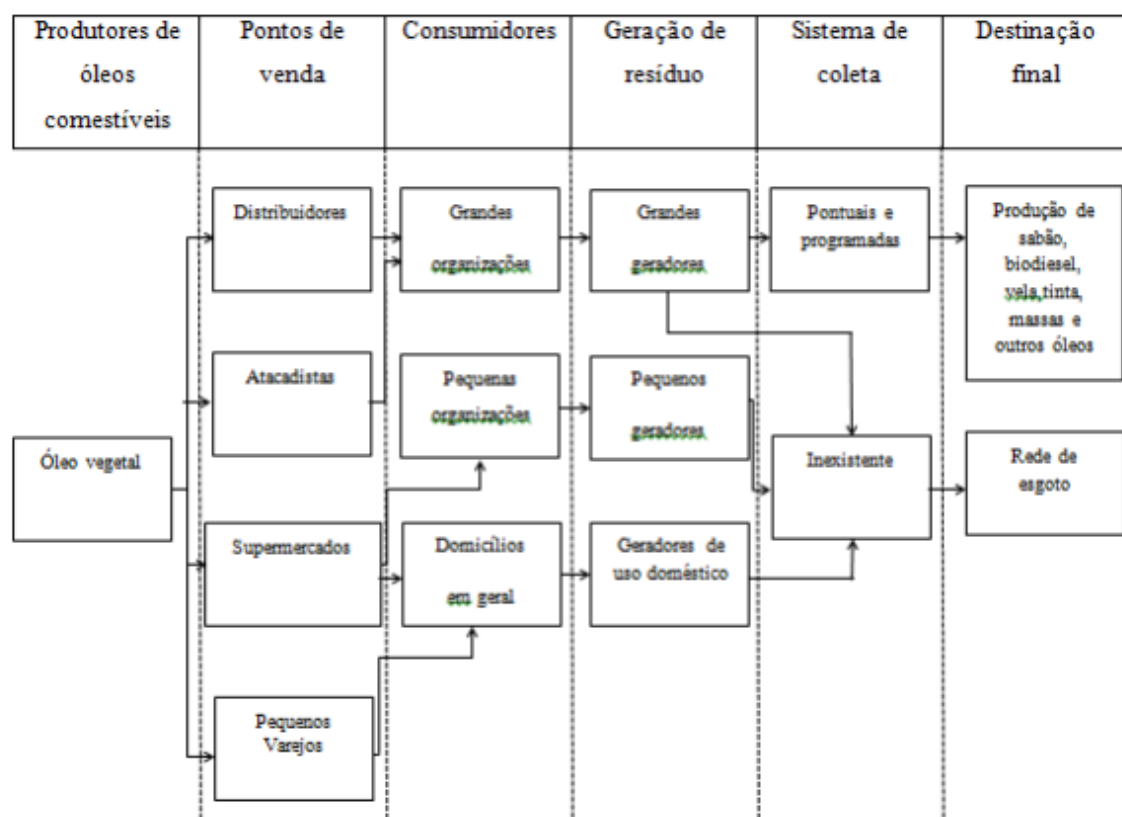
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. FONTE GERADORA E DESTINO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA

A maioria dos pratos de lanchonetes e restaurantes comerciais ou industriais são preparados por imersão no óleo comestível. Nos estabelecimentos comerciais, para preparar as refeições utilizam-se fritadeiras elétricas com capacidade de 15 a 350 litros e nas indústrias, como a produção é maior geralmente empregam-se fritadeiras elétricas com grande capacidade que podem chegar até 1000 litros. Segundo Lago e Rocha (2017) e Fiatkoski *et al.* (2020), o óleo residual de fritura é considerado como um resíduo sólido urbano e industrial gerado diariamente nos domicílios, bares, restaurantes e estabelecimentos comerciais e indústrias. E este resíduo, muitas vezes, devido à falta de informação, tem sido descartado de forma inapropriada na rede de esgoto encarecendo os processos das estações de tratamento, ou diretamente nas águas, seja em rios e riachos ou em quintais, contaminando lençóis freáticos e causando danos à fauna aquática.

O óleo de fritura é consumido em grande escala e faz parte dos resíduos que representam grandes riscos para o meio ambiente. Segundo ECOLEO (2012), cada brasileiro consome cerca de 20 litros de óleo por ano, já a quantidade coletada de óleos vegetais residuais é de menos de 1% do total produzido. A figura 13 apresenta um modelo da cadeia produtiva das diferentes fontes geradoras de óleo residual de fritura e o destino desse resíduo.

Figura 13: Fluxograma demonstrando a geração e destino de óleos de fritura usados



Fonte: Adaptado de Filho *et al*, 2013

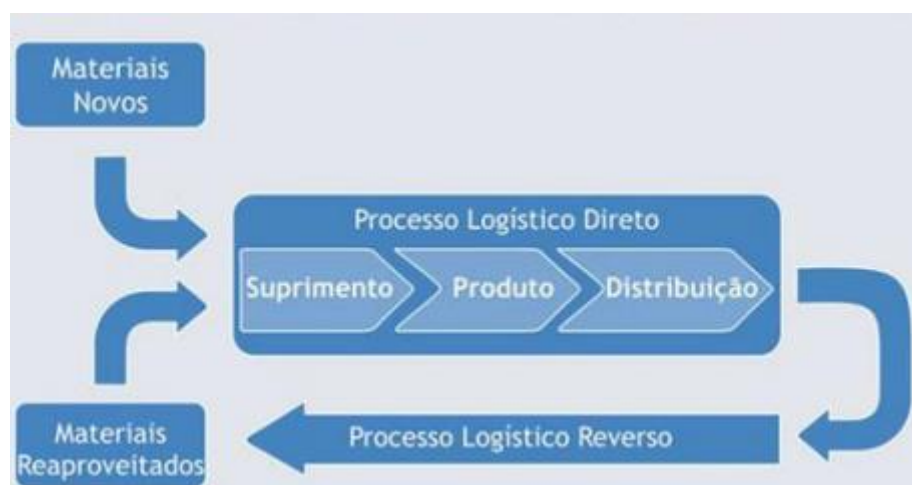
O modelo apresentado no esquema acima demonstra as diferentes etapas da cadeia produtiva do óleo vegetal residual, que corresponde à: produção, distribuição, geração de resíduos, coleta e em alguns casos, o retorno do óleo ao processo produtivo a partir de uma destinação final correta. Pode-se perceber que ao longo de toda cadeia, somente algumas grandes organizações possuem um fluxo de coleta, e destinação final apropriada para produção de outros produtos a partir da reciclagem. Ao aplicar este modelo à realidade brasileira, temos um fator preocupante que está localizado nas pequenas organizações e nos

domicílios, pois, em muitos casos, não há conscientização destes consumidores quanto ao descarte adequado e, sobretudo, a prática da responsabilidade compartilhada, como determina a PNRS. Percebe-se que as empresas de pequeno porte, em muitos casos, são desassistidas quanto ao serviço de logística reversa e realizam o descarte incorreto. As grandes iniciativas para a reciclagem e produção de outros produtos a partir do óleo vegetal residual, partem dos grandes geradores, das redes fast food que possuem convênios com empresas de coleta e tratamento do óleo para a produção de biocombustíveis, sabão, tintas, ração animal e outros produtos (FILHO *et al*, 2013).

6.1.1. Logística reversa do óleo residual de fritura

A Logística Reversa é uma das ferramentas da Lei 12.305, de 10 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS que dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos. A PNRS visa garantir maior eficácia no descarte e na reciclagem do resíduo, pois tem como objetivo de reduzir o impacto causado pelos resíduos através de Logística Reversa de Pós-Consumo, no qual, constituem-se bens de pós-consumo os produtos em fim de vida útil ou usados com possibilidade de utilização e os resíduos industriais em geral (FILHO *et al*, 2013). A logística reversa se preocupa com o meio ambiente e, também, em como as empresas juntamente com seu consumidor final podem reutilizar da melhor forma seus produtos sem agredir o meio ambiente. A figura 14 ilustra um processo de logística direta e reversa.

Figura 14: Processos logísticos diretos e reversos



Fonte: adaptado Kresse, 2013

O processo de logística reversa data de muitos anos atrás e funciona da seguinte maneira, o produto chega ao consumidor e a embalagem retorna ao seu centro produtivo para o seu reuso e volta ao consumidor final em um ciclo contínuo, como é o caso das indústrias de bebidas, com o retorno de vasilhames, na distribuição de gás de cozinha, com a reutilização de seus botijões e em outros segmentos, com latas de alumínio, garrafas plásticas, caixas de papelão etc.

Segundo Fiatekoski *et al.* (2020), a logística reversa de pós-consumo dos óleos residuais é um excelente instrumento, pois contribui para o desenvolvimento sustentável e é capaz de gerenciar o retorno do óleo residual no ciclo produtivo, planejando, operando e controlando os fluxos e informações relacionadas ao retorno do resíduo à cadeia produtiva. A logística reversa é composta de várias etapas sendo que algumas são mais importantes para a estruturação e implementação da cadeia de suprimento e do planejamento da distribuição, enquanto outras são específicas do fluxo do processo reverso, que são: segregação (separação nas fontes), coleta e transporte até o local de produção (FILHO *et al.*, 2013).

6.1.2. Impacto dos óleos residuais de fritura

Bezerra de Oliveira *et al.* (2021), afirmaram que por mês mais de duzentos milhões de litros de óleo residual de fritura param nos rios e lagos, causando problema nefasto sobre o meio ambiente. De acordo com os mesmos autores, hoje o óleo de cozinha usado é um dos maiores responsáveis pela poluição de água doce e salgada das localidades mais adensadas do Brasil. Apesar de que este resíduo representa uma fração pequena do lixo descartado, a sua repercussão é muito grande.

A maioria das pessoas se livra dos óleos usados de cozinha no ralo das pias, vasos sanitários ou esgotos. Para Stanier (2013), esse tipo de descarte tem três consequências: em primeiro lugar, entupimento da canalização, provocando mau cheiro e inundação nas cozinhas, pois as substâncias graxas se coagulam. Em segundo lugar, os depósitos das substâncias graxas podem dificultar a respiração das plantas, provocar o desequilíbrio da fauna e da flora em ambiente aquático, ter grande impacto sobre os lençóis freáticos e causar danos nas regiões aeróbias onde podem produzir microrganismos que geram sulfeto de hidrogênio (HS) que é altamente tóxico para trabalhadores de esgotos, perigoso para o ambiente é extremamente inflamável. Também existem problemas de odor

causados pela liberação de HS (cheiro de ovo podre). Além da formação de HS, também podem gerar ácido sulfúrico, que é um composto muito corrosivo e, portanto, responsável pelo fenômeno de degradação de obras. Em último lugar, quando esse tipo de resíduo atinge esgotos, eles podem parar nas estações de tratamentos de água e como consequência complicam os sistemas de tratamento ou poluem a água.

6.2. CARACTERIZAÇÃO DOS ÓLEOS DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Geralmente os métodos analíticos utilizados para avaliar a qualidade dos óleos de fritura residuais são: a determinação dos Compostos Polares Totais (CPT), ácidos graxos livres, índices de peróxido, do índice de acidez e índice de iodo e umidade (NASCIMENTO *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2017; OSAWA *et al.*, 2010). A tabela 2 apresenta os parâmetros de qualidade de óleo residual de fritura para produção de biodiesel.

Tabela 2: Parâmetros de óleo residual de soja para produção de Biodiesel

Parâmetros	Concentração aceitável
Compostos polares totais	>25%
Ácidos graxos livres	1 - 6 %
Índice de peróxidos	10 meq/kg
Índice de acidez	0 - 1% ácido oleico
Índices iodados	-
Umidade	0.1 - 0.2 %

Fonte: CAVALCANTE *et al.*, (2010)

As principais mudanças físicas que ocorrem em óleos que são submetidos a processos de fritura estão relacionadas com: escurecimento, aumento de sua viscosidade, decréscimo no ponto de fumaça e geração de espuma. Das mudanças citadas, apenas o escurecimento não está relacionado com os compostos polares resultantes da degradação do meio. Para óleo residual com compostos polares de 25% e para ponto de fumaça 170°C não é aconselhável o reuso (LIMA, 2009). Os ácidos graxos livres estão relacionados diretamente com os índices de ácidos, quanto mais a formação de ácidos graxos maior acidez tem o óleo residual. O aumento da quantidade de ácidos graxos livres no óleo residual pode comprometer o rendimento da reação de transesterificação (VIEIRA *et al.*, 2018). Para valores de óleos contendo acidez superior a 0,5% de AGL e umidade maior que 0,25% de

H₂O, pode-se ignorar a transesterificação tradicional. Para o índice de iodo, a resolução nº45 de 25/08/2014 de APN (2014) não apresenta um valor fixo, mas indica que o valor ideal do índice de iodo para produção de biodiesel tem ser igual ou inferior a 120gI/100g, segundo EN 14214 (Ferrari e Souza, 2009) e para o índice de peróxido o valor deve ser superior à 10 meq/1000g, pois estes valores demonstram uma baixa possibilidade de deterioração oxidativa (MALACRIDA 2003; HOCHSCHEIDT *et al.*, 2020).

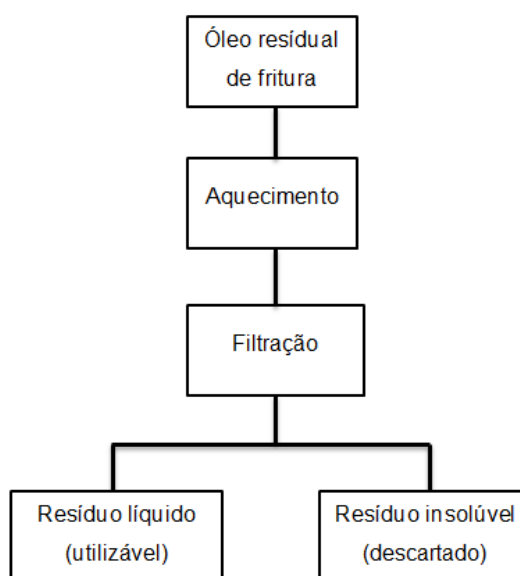
6.2.1. Principais fatores que influenciam o óleo de fritura na obtenção do biodiesel

Segunda Ruella e Coronada (2012), os principais fatores que afetam o óleo de fritura para a produção de biodiesel são a umidade, a temperaturas durante o processo de fritura dos óleos e o tempo de armazenamento de óleo. A presença da umidade no óleo de fritura provoca a desativação do catalisador que resulta no aumento dos componentes de ácidos graxos de forma gradativa, o que é completamente desinteressante para a reação. A umidade em excesso no óleo torna a transesterificação alcalina inapropriada, devido a formação de sabões durante a reação, por isso é recomendável que o índice de umidade não seja superior a 0,10% (ARLINDO *et al.*, 2019). Conforme Rios *et al.* (2013), a degradação do óleo é acelerada com alta temperatura, geralmente, óleos de fritura são expostos à temperaturas em torno de 162 a 196°C. No entanto, somente quando os óleos são condicionados a temperaturas acima de 200°C durante um período de tempo mais prolongado, podem ocasionar mudanças físico-químicas significativas, tais como: aumento do calor específico, se tornando escuro, mudança na tensão superficial, formação de espuma viscosa (mais grosso), aumento da acidez devido à formação de ácidos graxos livres, oxidação e decomposição em pequenos fragmentos e desenvolvimento de odor desagradável, chamado de ranço, passando à condição de exaurido, pois tem diminuição no teor de insaturação. O tempo de armazenamento dos óleos residuais é um dos fatores mais importantes no aproveitamento dos processos de produção de biocombustível. O óleo de fritura armazenado apresenta um decréscimo de rendimento em biodiesel. Isso ocorre por consequência das degradações sofridas pela matéria-prima durante o aquecimento. Contudo quanto maior o tempo de armazenamento do óleo de fritura menor rendimento no poder calorífico do biodiesel.

6.3. ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO RESIDUAL

Segundo Nascimento *et al.* (2018), para adequar os óleos residuais para fins de padronização, desemulsificação, purificação e desenvolvimento de processo de ésteres, as amostras normalmente são submetidas a um processo de pré-tratamento e tratamento. No processo de pré-tratamento encontram-se as seguintes etapas: aquecimento e filtração (Figura 15). E o processo de tratamento compreende a esterificação e a neutralização.

Figura 15: Pré-tratamento de óleo residual de fritura



Fonte: Autoria própria, 2022.

No processo de aquecimento o óleo residual se transforma de uma amostra pastosa em líquido, facilitando a etapa de filtração, ou seja, o aquecimento possui objetivo de reduzir a viscosidade do óleo, melhorando a etapa da filtração. Geralmente a temperatura de aquecimento recomendável é aproximadamente de 60 °C. Para realizar a filtração, é importante utilizar a filtração a vácuo com o auxílio do funil, kissato, papel de filtro e com algodão para reter os sólidos suspensos (Araújo et al, 2013).

6.3.1. Esterificação

Para tratar alto índice de ácidos graxos presente nos óleos residuais utiliza-se a reação de esterificação e transesterificação desses ácidos. A esterificação ocorre a partir da reação dos ácidos graxos livres dos óleos residuais com um álcool, com a formação

de éster e água. Geralmente para catalisar tal reação são empregados ácidos orgânicos fortes, como o ácido sulfúrico H_2SO_4 . Como o sistema é reversível, ou seja, ocorre tanto a reação direta (esterificação) como a inversa (hidrólise dos ésteres), é necessário deslocar o equilíbrio em prol dos produtos. Para isto, pode-se remover a água que é gerada na reação, ou utilizar o catalisador ou o álcool em excesso. O álcool utilizado deve ser, preferencialmente, de baixo peso molecular; o metanol é o mais usado devido ao menor custo e facilidade de recuperação no processo (HOCHSCHEIDT *et al.*, 2020).

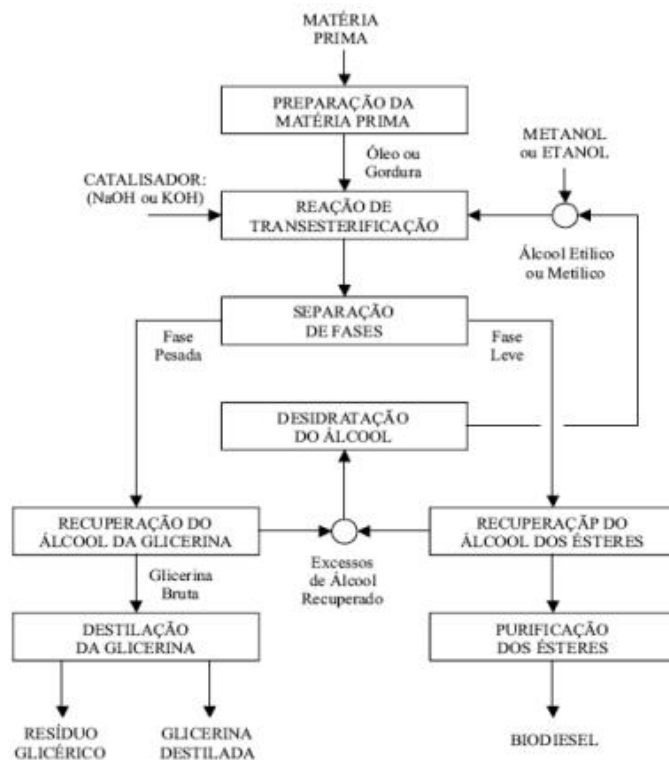
6.3.2. Neutralização

O processo de neutralização geralmente é aplicado para eliminar os ácidos graxos livres na forma de sabões e outros compostos indesejáveis como proteínas, ácidos oxidados e produtos de decomposição de triacilgliceróis. A lavagem normalmente ocorre com a solução alcalina como hidróxido de sódio ou potássio. Vale ressaltar que essa etapa torna-se obrigatória quando o óleo residual apresenta índice de acidez e umidade relativamente altas para a produção de biodiesel via transesterificação alcalina (HOCHSCHEIDT *et al.*, 2020).

6.3.3. Processo de produção por transesterificação

Basicamente a transesterificação ou alcoólise é uma reação de um glicerídeo com um álcool de cadeia curta em presença de um catalisador que pode ser básico ou ácido (NASCIMENTO *et al.*, 2018; VARGAS *et al.*, 2017). Segundo Ruella e Coronada (2012) antes de aplicar o processo de transesterificação deve-se verificar o teor de ácido por titulação e o teor de umidade da amostra, pois todo óleo residual de fritura tem um teor de água devido ao processo de fritura dos alimentos. Além da umidade, os óleos residuais podem apresentar elevado teor de ácidos graxos livres. Nesse caso, é comum realizar o processo de transesterificação em duas etapas. A primeira etapa é um processo de esterificação com ácido, em geral o ácido sulfúrico, e a segunda etapa é o processo de transesterificação em si. Na primeira etapa os ácidos graxos livres se convertem em ésteres por meio da esterificação e alguns triglicerídeos são transesterificados. Na segunda etapa ocorre a transesterificação na presença de uma base como catalisador. A figura 16 mostra um fluxograma de processo de produção de biodiesel por transesterificação a partir do óleo residual de fritura, constituído por etapas de pré-tratamento da matéria-prima, reação de transesterificação e de purificação do biodiesel (MISHRA E GOSWAMI, 2017).

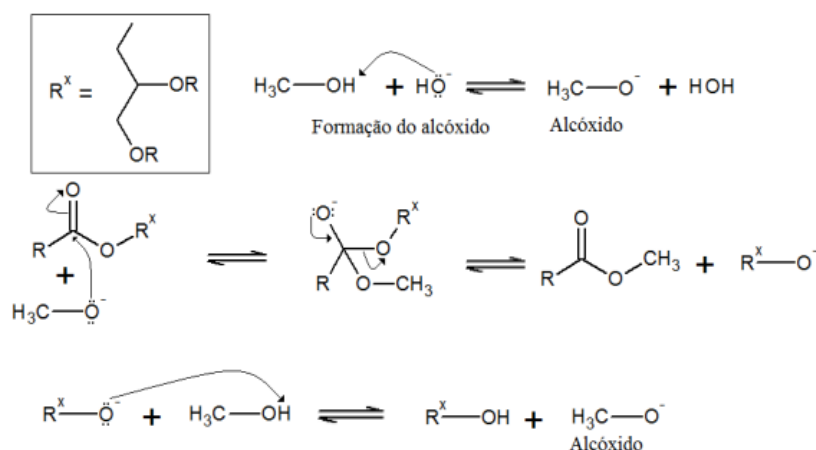
Figura 16: Processo de produção de biodiesel



Fonte: Adaptado de (Parente, 2003)

Para a produção de biodiesel, a reação de transesterificação de óleo residual de fritura com álcoois primários pode ocorrer tanto no meio ácido quanto no meio básico (Figura 17 e 18). A reação de transesterificação em presença de ácido que a maioria das vezes é ácido sulfúrico sempre oferece um bom rendimento na conversão dos óleos residuais, que vai até 99%, porém a reação é muito lenta, sendo necessárias temperaturas acima de 100°C e mais de 3 h para alcançar o referido rendimento. De outro lado o processo de obtenção de biodiesel é mais rápido por transesterificação em meio básico do que por catálise ácida, gerando rendimento de conversão muito interessante (98%) em um reduzido tempo de reação, aproximadamente 30 minutos são suficientes a uma temperatura reacional de 60°C e uma pressão de 1 atm. Desse modo, a reação por catálise básica se torna mais atrativa do ponto de vista industrial (MISHRA E GOSWAMI, 2017; ISAC E ANDRE, 2015; MENEGHETTI *et al.*, 2013; VARGAS *et al.*, 2017).

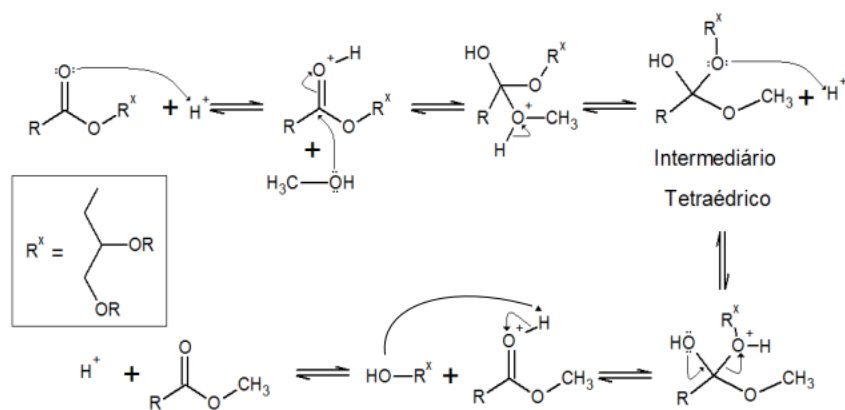
Figura 17: Mecanismo de transesterificação de óleo residual vegetal em meio alcalino



Fonte: CLAYDEN *et al*, 2001

Inicialmente o álcool reage com a base para formar alcóxido. Na segunda fase ocorre um ataque do nucleófilo no grupo carbonila do glicerídeo, resultando na formação de um intermediário tetraédrico, em seguida ocorre a formação do éster e ânion correspondente ao diglicerídeo. Na quarta fase, o ânion tira um próton do álcool para formar o íon alcóxido, que depois desprotona o catalisador para regenerar a base (LEUNG *et al.*, 2010). Em seguida, com a formação da nova molécula de álcool, inicia-se um novo ciclo catalítico até a transformação dos monoglicerídeos e diglicerídeos em éster e glicerina de forma análoga (MENEGETTI *et al.*, 2013).

Figura 18: Mecanismo de reação de transesterificação de triglicerídeo em meio ácido



Fonte: CLAYDEN *et al*, 2001

O uso de catalisadores ácidos de Bronsted causa muita dificuldade durante o processo de produção de biodiesel, principalmente, a corrosão dos equipamentos, além de levar muito tempo para realizar a conversão. Na figura 18 é apresentado o mecanismo de reação de transesterificação de triacilgliceróis para produção de biodiesel. No

início, uma carbonila de um triacilglicerídeo sofre um ataque eletrofílico do íon hidrônio, formando um carbocátion em seguida este carbocátion sofre um ataque nucleofílico de uma molécula do álcool, formando um intermediário tetraédrico. Então, ocorre neste caso a formação de um diacilglicerídeo e um éster graxo, juntamente com a regeneração da espécie do íon hidrônio. Por processos semelhantes serão formados os monoacilglicerídeos e glicerol (MENEGETTI *et al.*, 2013).

6.3.4. Separação de fases

Após a conversão dos ácidos graxos dos óleos residuais em ésteres (biodiesel), a massa reacional final é constituída de duas fases, separáveis por decantação ou centrifugação. A fase mais densa é formada por glicerina bruta e a fase menos pesada é composta de uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos, também impregnada de excessos reacionais de álcool e de impurezas (DELATORRE *et al.*, 2011). Esta separação é muito relevante para a produção de biodiesel, porque o processo de purificação dos produtos decorrentes da sua produção pode ser tecnicamente difícil e pode encarecer muito os custos de produção (BERNI *et al.*, 2015). A pureza do biodiesel precisa ser alta e de acordo com a especificação da União Européia, o teor de ácidos graxos livres, álcool, glicerina e água devem ser mínimos de modo que a pureza do biodiesel seja maior que 96,5% (FERRARI *et al.*, 2004).

6.3.5. Recuperação e desidratação do álcool

Para remover o álcool da glicerina a fase pesada deve ser submetida a um processo de evaporação, retirando-se os compostos voláteis da glicerina bruta, cujos vapores de água e álcool são liquefeitos em condensador. O álcool residual é recuperado da fase menos densa, liberando para as etapas seguintes, os ésteres metílico e etílico. Vale dizer que mesmo após a recuperação, o álcool tem ainda água que deve ser removida e geralmente essa desidratação é realizada por destilação (COSTA E OLIVEIRA, 2021). No caso do uso do metanol, a sua desidratação é mais simples já que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande, além de não ocorrer o fenômeno da azeotropia para dificultar a separação completa. No caso da desidratação do etanol, em razão da azeotropia associada à volatilidade não tão acentuada, o processo de separação é mais complexo e dispendioso, além de recuperar menor quantidade desse álcool em comparação ao metanol (DELATORRE *et al.*, 2011).

6.3.6. Destilação da glicerina

A glicerina bruta resultante do processo, mesmo com suas impurezas convencionais, já constitui um co-produto rentável. A glicerina bruta é um produto muito comercializado e quando é purificada passa a ser valorizada mais ainda no mercado. Geralmente a purificação da glicerina é feita por destilação a vácuo, resultando um produto límpido e transparente, conhecido no mercado como glicerina destilada. O produto de cauda da destilação, ajustável na faixa de 10% a 15% do peso da glicerina bruta, pode ser denominado de “glicerina residual” e ainda encontra possíveis aplicações (LEUNG *et al.*, 2010; PARENTE, 2003).

6.3.7. Purificação do biodiesel

A purificação do biodiesel é feita por lavagem aquosa que tem como objetivo extrair traços de glicerina, catalisador, álcool, tri-, di-, monoglicerídeos e diminuir o teor de sabão, obtido da reação de saponificação entre o catalisador e o óleo. Tal processo ocorre a partir da adição de água ao biodiesel produzido, ambos a uma temperatura controlada, agitação e separação por decantação. Nos casos em que a purificação não seja suficiente, os ésteres devem ser lavados geralmente com água destilada por centrifugação e em seguida transferidos para um desumidificador para eliminar qualquer traço de umidade. O biodiesel resultante deve possuir suas características enquadradas nas especificações das normas técnicas estabelecidas para esse biocombustível, para uso em motores do ciclo diesel, que atende aos parâmetros fixados pelas normas ASTM D6751 (American Standard 21 Testing Methods, 2003), DIN 14214 (Deutsches Institut für Normung, 2003) ou pela portaria no 255/03 de 15.09.2003 da ANP (DELATORRE *et al.*, 2011).

6.4. CARACTERIZAÇÃO DO BIODIESEL PRODUZIDO COM ÓLEO RESIDUAL

No Brasil, a Resolução da Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº42 de 24.11.2004 estabelece as características que deve ter o biodiesel para ser comercializado. Esta resolução tem como objetivo adequar às normas internacionais ou desenvolver novas, de maneira a cumprir adequadamente toda análise de conformidade do biodiesel no país, auxiliando o monitoramento da qualidade do combustível em todo território nacional. É muito importante levar em consideração as normas internacionais na produção de biodiesel,

pois facilita a participação e negociação do biodiesel brasileiro na escala internacional. Conforme Rossi *et al.* (2018), a Resolução nº42 atende aos parâmetros fixados pelas normas ASTM D6751 (American Standard 21 Testing Methods, 2003) e DIN 14214 (Deutsches Institut für Normung, 2003) para as propriedades físico-químicas do biodiesel. A resolução nº42 considera vários parâmetros, os quais correspondem às seguintes características: aspecto, densidade a 15°C, viscosidade cinemática a 40°C, teor de água, contaminação total, ponto de fulgor, teor de éster, cinzas sulfatadas, enxofre total, sódio e potássio, cálcio e magnésio, fósforo, corrosividade ao cobre, número de cetano, ponto de névoa, índice de acidez, glicerol livre e total, monoglicerol, diglicerol e triglicerol máximo, metanol e/ou etanol máx., índice de iodo e estabilidade oxidativa (ATADASHI *et al.*, 2010; ROSSI *et al.*, 2018). A tabela 3 apresenta as propriedades mais importantes do combustível e os limites estabelecidos pela APN e *International Standard* (EN 14214).

Tabela 3: Características do biodiesel estabelecidas pela ANP e EN14214

Parâmetro	Unidade	APN	EN 14214	Método
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	3,0 - 6,0	3,5	EN ISO 3104
Massa específica a 20°C	kg/m ³	850 - 900	860 – 900	EN ISO 3675/EN ISO 12185
Ponto de entupimento	°C	19	-	-
Ponto de fugor	°C	100	>101	ISO CD 3679e
Índice de acidez	mgKOH/g	0,5	0,5	pr EN 14104

Fonte: ATADASH *et al.*, 2010 e ROSSI *et al.*, 2018

A viscosidade cinemática representa uma das mais importantes propriedades do combustível, pois afeta diretamente o funcionamento de injeção do combustível no motor, principalmente em baixas temperaturas, que causam o aumento da viscosidade, influenciando a fluidez do combustível. A viscosidade cinemática é determinada segundo a norma ASTM D445 a 40°C.

Vários fatores estruturais podem influenciar a viscosidade dos ésteres alquílicos, tais como: comprimento da cadeia, grau de insaturação, dupla orientação de ligação e tipo de grupo de cabeça de éster. Um aumento no tamanho da cadeia e/ou grau de saturação resulta em maior grau da viscosidade cinemática. A viscosidade dos óleos puros é mais elevada do que seus ésteres alquílicos, 10 a 15 vezes do que o óleo diesel (ATADASHI *et al.*, 2010; DWIGHT *et al.*, 2011) como mostrado na tabela 4.

Tabela 4: Especificações de alguns tipos de óleos vegetais e do óleo diesel convencional

Viscosidade cinética a 40°C(mm²/s)							
Óleo puro				Biodiesel			
Algodão	Soja	Colza	Seringueira	Algodão	Soja	Colza	Seringueira
50	65	39,5	66,2	4	4,08	4,5	5,85

Fonte: Adaptado de Ramadhas *et al.*, 2005.

6.5. BENEFÍCIOS DO USO DE ÓLEO DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Conforme Weyer (2015), um projeto para destinação ambientalmente correta de óleos residuais traz benefícios imediatos à comunidade, no sentido da preservação dos recursos hídricos, biota e equipamentos públicos e privados de coleta e drenagem de esgotos, aduzindo reduções de custos privados e coletivos. Para Silveira e Vieira (2014), o emprego do óleo de fritura para produção de biodiesel traz inúmeros benefícios para o ambiente e para a sociedade.

No aspecto ambiental, a utilização desses resíduos para produção de biodiesel reduz vários problemas ligados à poluição, porque quando o óleo de cozinha usado é descartado diretamente nos esgotos, além de acarretar prejuízos ambientais, também ocupa o espaço da água e do ar impedindo que a fauna e flora do solo absorvam nutrientes, água e oxigênio, causando alteração no ecossistema aquática (WEYER, 2015; SILVEIRA E VIEIRA, 2014). Albuquerque *et al.* (2020), afirmaram que a utilização do biodiesel diminui completamente a emissão do monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) e elimina totalmente o enxofre que é o principal responsável pela chuva ácida. Uma grande vantagem desse combustível é a biodegradabilidade em meio aquático e terrestre com grande facilidade.

No aspecto econômico, a produção de biodiesel com o óleo refinado tem custo elevado, encarecendo o combustível. Desta forma, o óleo de fritura é uma alternativa interessante, levando em consideração que o referido produto pode ser adquirido a um baixo custo. Outra vantagem da utilização do óleo de fritura para produção de biodiesel é o valor agregado à reutilização de um resíduo industrial. Atualmente, a reciclagem de resíduos agrícolas e agroindustriais vem ganhando um espaço cada vez maior, porque os resíduos representam, para o reaproveitamento, matérias-primas de baixo custo (Albuquerque *et al.*, 2020). De acordo Silva e Vieira (2014), o mercado de biodiesel é muito competitivo e

atraente para o negócio, pois não somente complementa todas as tecnologias do diesel com desempenho similar, como também não exige grande instalação de uma infraestrutura e política de treinamento. Nas tabelas 5 e 6 são apresentadas uma comparação entre o preço das matérias primas de óleo de soja refinado e residual para produção de biodiesel em 2015 contida no anuário da APN.

Tabela 5: Dados e preços para óleo de soja refinado

Composto	Preço	Quantidade
Biodiesel	R\$/L 2,40	3016320,7 m ³
Metanol	R\$/kg 1,21	871.654,9 t
Óleo de soja refinado	R\$/L 1,70	3061027 m ³
Hidróxido de Potássio	R\$/kg 2,91	24261,4 t

Fonte: ROSSI *et al.*, 2018

Tabela 6: Dados e preços para óleo de soja residual

Composto	Preço	Quantidade
Biodiesel	R\$/L 2,40	2774705,4 m ³
Metanol	R\$/kg 1,21	758.322,7t
Óleo de soja residual	R\$/L 0,63	3061027 m ³
Ácido sulfúrico	R\$/kg 0,06	80700,9 t
Hidróxido de potássio	R\$/kg 2,91	24210,3t

Fonte: ROSSI *et al.*, 2018

Vale ressaltar também que o processo de produção do biodiesel com óleo de fritura, além de produzir biodiesel com grande valor econômico também produz o glicerol que possui grande importância no mercado. Quando o glicerol é tratado, é ainda mais valorizado no mercado, até mais do que o biodiesel.

6.6. VIABILIDADE ECONÔMICA DO BIODIESEL COM ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA

Para o estudo de viabilidade econômica considerou-se em primeiro lugar, qual a capacidade de produção da planta. Estipulou-se uma produção mensal com capacidade aproximada de 20.000L/mês. A partir dessa quantidade foi possível calcular a quantidade dos insumos como o catalisador e metanol necessários (ANEXO I). Os resultados obtidos estão na tabela 7.

Tabela 7: Estimativa da quantidade de biodiesel produzida a partir de óleo residual de fritura

Quantidade de óleo residual de fritura (L/mês)	Quantidade álcool necessária - CH ₃ OH (L/mês)	Quantidade de catalisador necessária - NaOH (kg/mês)	Quantidade de Biodiesel (L/mês)
20.000	1034	15	18400

Fonte: Autoria própria, 2022

A montagem da mini-usina envolve investimento na compra de equipamentos para a unidade e local para instalação dos equipamentos, armazenagem da matéria prima e do produto final.

Na tabela 8 estão descritos os equipamentos necessários para o processo de produção, a capacidade, preço de cada equipamento e custo para construção de uma planta de 150 m² (Damasceno *et al.*, 2018).

Tabela 8: Capacidade total de equipamentos da planta e os seus preços

Atividades	Equipamento	Capacidade	Quantidade	Capacidade total	Preço
	Tanque de óleo Biodisel	20000L	1	20000L	\$9,000
Preparação da matéria prima	Mesa filtradora de óleo	200L	1	Continua	\$5,000
	Tanque de armazenagem	250L	1	250	\$4,000
Aquecimento do óleo	Tanque de aquecimento de óleo	300L	1	300L	\$6,000
Reação de transesterificação	Tanque de misturador(álcool e catalisador)	50L	1	50L	\$5,000
	Reator de transesterificação	350L	1	350L	\$7,000
Recuperação do álcool	Destilador	350L	1	350L	\$11,000
Separação das fases	Decantadores	350L	6	2100L	\$5,000
Purificação do Biodisel	Torre de polimento	180L/h	1	1000L	\$9,000
Planta					\$23,000
Total					\$83,000

FONTE: FANTINEL, 2016

Obs1: A cotação do preço dos equipamentos foi realizada pelo site Alibaba

Obs2: Os fretes são inclusos nos preços dos equipamentos

Considerou-se que a usina está operando em modo batelada e tem a capacidade de realizar 5 bateladas por dia, produzindo 200 litros de biodiesel por batelada em cerca de 391 minutos, resultando em uma produção diária de 1000 litros de biodiesel

(FANTINEL, 2016) . Na tabela 9 apresenta-se o tempo de duração de cada atividade do processo.

Tabela 9: Tempo de duração de cada etapa do processo para 200 litros de óleo residual de fritura

Atividades	Tempo (Horas)
Preparação da matéria prima	1,5
Aquecimento da matéria prima	0,5
Transesterificação	0,75
Recuperação metanol	1
Separação de fases	1,67
Purificação	1,1
TOTAL	6,52

Fonte: Fantinel, 2016

O custo de investimento fixo está relacionado com o capital disponível para construção da planta, aquisição dos equipamentos, incluindo os custos das instalações e as matérias necessárias para as suas instalações. Tais instalações e equipamentos possuem uma vida relativamente longa e representam os ativos permanentes da empresa. Vale ressaltar que a valorização desses ativos no mercado depende muitas vezes do tipo de tecnologia empregada, o modo de instalação e do fabricante, por isso é importante que o investimento fixo seja durável para evitar o prejuízo. Assim sendo, o valor de investimento estimado para a implementação de uma planta de produção de biodiesel com capacidade de 240000L/ano por transesterificação é \$83000, e além dos custos dos equipamentos e a construção da fábrica, foram estimados também os custos das bombas, motores, vasilhames e outros (Tabela 10). Esta estimativa foi realizada utilizando as projeções de Damasceno *et al.* (2018) e Fantinel 2016.

Tabela 10: Custo fixo de implementação da mini-usina

Mini-usina	\$83,000
Instalação, montagem, treinamento	\$ 7,000
Bombonas, vasilhames e outros	\$ 800
Matérias administrativas	\$1500
Laboratório e outros	\$2000
Custo para abertura da planta	\$ 200
Total	\$94,500

Obs1: Este foi uma projeção de uma provável relação de equipamentos para montagem de uma mini-usina e seus componentes realiza por um técnico da BIODIESELBRAS.

Considerou-se que a relação de biodiesel e óleo utilizado é uma reação quase 1:1 com uma taxa de conversão entre 92% e 95% para uma coleta 20.000L/mês. O custo por litro de óleo coletado é cerca de 0,12\$. Foram atribuídos para o hidróxido de sódio e o metanol preços de \$0,57/Kg e \$0,24/kg, respectivamente (ROSSI *et al.*, 2018). Conforme Damasceno *et al.*(2018), é recomendado utilizar o metanol (99,85% de pureza) a 13% em massa de óleo e o NaOH à 0,8% de massa óleo. Desta forma, a tabela 11 apresenta os custos operacionais mensais para a produção de biodiesel na planta.

Tabela 11: Custo mensal de operação da planta

Insumo	Preço/Kg	Quantidade	Total(\$)
Óleo Residual	\$0.12	1860kg	223,2
Coleta de óleo	-	-	500
Metanol	\$0.57	819kg	466,83
Catalizador básico	\$0,24	15kg	3,6
Mão de obra + Encargos	-	-	1500
Aluguel do Espaço	-	-	600
Capital de Giro	-	-	1000
Energia, água, internet e outros	-	-	1500
Contador	-	-	60
Total			5854

Fonte: Autoria própria, 2022

Segundo Rossi *et al.* (2018), o preço médio do biodiesel contido no anuário de ANP 2016 foi R\$2,40/L, ou seja, \$0,48L para o ano 2015. Então estima-se como preço de venda \$0.47/L produzido na planta. Considerando-se a eficiência da planta de 92% para produção de biodiesel e 18% para produção de glicerina que estima-se a 0,1\$/L. Assim sendo, demonstra-se na tabela 12 o faturamento anual da planta para uma produção estimada de 240.000 L por ano e a previsão de lucro mensal é apresentada na tabela 13.

Tabela 12: Receita anual da mini-usina

Produto	Preço/L	Quantidade(Kg)	Valor(\$)
Biodisel	\$0,47	220800	103770
Imposto	0,04	220800	8832
Glicerina	\$0,1	36000	4320
Total			99264

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 13: Previsão de lucro

Fatura annual	\$99264
Custo de produção	\$70244
Lucro annual previsto	\$29020

Fonte: Autoria própria, 2022

Um dos indicadores de análise utilizados no mundo de investimento para tomada de decisão é o chamado *payback*. Trata-se de uma maneira de medir o prazo de retorno sobre o investimento inicial, ou seja, mede o tempo necessário para que o fluxos caixas nominais cubram o investimento inicial (LYRA, 2010). Assim sendo, tem-se abaixo a tabela 14 que demonstra o valor de retorno do investimento da mini-planta.

Tabela 14: *Payback* da mini-usina

Investimento inicial	\$99264
Lucro Anual	\$29020
Payback simples	3,4 Anos

Fonte: Autoria própria, 2022

Segundo Dinardo et al. (2010), para preço de óleo vegetal igual a R\$1400/t, a produção de biodiesel vendida a R\$2,326/l ou \$0.4656/L só se torna viável se os rendimentos são maiores que 90%, pois este rendimento é mínimo e se torna maior ainda para preço de óleos mais altos. Camargo e Carvalho (2014) verificaram que é economicamente viável a instalação de uma mini-usina de produção de biodiesel por óleo residual de fritura de capacidade de 10000 L/mês, com um capital de R\$115.000,00. Baseando-se neste custo e na quantidade de biodiesel produzida espera-se o retorno de

investimento em 5 anos, estimando-se o custo de produção de um litro de biodiesel com custo de R\$ 1,52/L em baixa temporada e R\$ 0,84/L de biodiesel em alta temporada.

Conforme Parente (2003), para um custo de matéria-prima de \$400/t, o custo de produção do biodiesel seria de cerca de \$0.36/L. Considerando uma margem de lucro e de frete de 25% sobre o preço final, o preço de comercialização do biodiesel seria de \$0.45/L, o que poderia se considerar competitivo com relação ao óleo diesel.

O Boletim dos combustíveis nº 107 (2017) reportou o preço médio dos custos de produção de biodiesel foi \$0.57/L, enquanto Rossi *et al.* (2018) analisou os seus custos de produção de biodiesel por óleo residual e estabeleceu preço de \$0.48/L de biodiesel produzido.

6.7. PROPOSIÇÃO DE ATIVIDADE DE CONSCIENTIZAÇÃO

Como pode-se perceber, a produção de biodiesel por óleo residual de fritura é uma alternativa economicamente viável por apresentar uma ótima solução, do ponto de vista ambiental, tecnológico e econômico principalmente pelo custo baixo da matéria-prima. Esse custo pode ser ainda mais reduzido, em projetos que envolvam parcerias com indústrias ou estabelecimentos comerciais, ou mesmo dependendo do interesse dos municípios. Então, através nosso trabalho sugerimos que:

- Implementar triagem seletiva nas regiões de pré-coleta para facilitar a recuperação dos óleos residuais por empresas especializadas.
- Todos os municípios devem criar leis de regulamentação para todos os órgãos que produzem estes tipos de resíduos em grande quantidade, motivando-os a criar um sistema de coleta especialmente para óleo residual usado.
- Criar programas de conscientização e sensibilização envolvendo a comunidade para que possam participar de maneira direta nas atividades de sensibilização para orientá-la a praticar descarte adequado para o óleo residual de fritura.
- Construção de mini-usina de produção de biodiesel pelas prefeituras nas cidades que geram grandes quantidades de óleo de residual fritura, pois pode contribuir grandemente nos aspecto econômico das cidades.
- Implementar atividades de sensibilização nas escolas para as crianças, elaborando materiais educativos que mostrem a elas os grandes

impactos destes tipos de resíduos sobre o meio ambiente e a importância deles para a ciência (Anexo II).

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos comestíveis usados são os resíduos de gorduras, principalmente de origem vegetal, que são muitas vezes congelados a temperatura ambiente e contaminados com água durante o processo de fritura destinada ao consumo humano, proveniente da indústria, do estabelecimento comercial e coletivo, e também doméstico.

O descarte inadequado do óleo residual de fritura pode provocar grande impacto sobre o meio ambiente. Por exemplo, quando é descartado na rede de esgoto, ele cria um depósito de gordura que pode ser prejudicial para a respiração das plantas e do ambiente aquático e além disso pode encarecer o tratamento da água e gerar alguns compostos tóxicos como sulfureto de hidrogênio e o ácido sulfúrico que podem favorecer a proliferação de microrganismos. Portanto, para evitar tais problemas é importante coletar e armazenar esses resíduos para receber tratamento específico.

É possível produzir o biodiesel a partir do óleo residual de fritura empregando a rota de transesterificação metálica em meio básico com rendimento de até 98% num tempo reduzido de reação. Embora a catálise básica seja mais aplicada, a presença de impurezas como água e ácidos graxos livres em óleos residuais resulta na formação de sabão e consumo de catalisador.

Através dos resultados obtidos verificamos que o investimento necessário para montar uma mini-usina de capacidade de 240000L/ano é em torno \$94500. Este valor de investimento apresenta-se como uma proposta economicamente viável com um tempo de retorno(*payback*) aproximadamente a 3,4 anos. Além de economicamente viável, a mini-usina é considerada como um ganho ambiental também, pois trata-se de um processo sustentável onde será retirado de circulação um resíduo altamente poluente.

8 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, N. A., GOMES, C. C. C., SOUZA, T. S., LEÃO, A. H., PEITER, A. S., SOUZA, M. N. Produção de biodiesel utilizando óleo de fritura oriundo do restaurante universitário da universidade federal de alagoas. **VIII - Congresso Brasileiro de Energia Solar** – Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020.

AMAR, B., SOFIANE, K. *Impact des huiles alimentaires usagées sur l'environnement et Essai de Leur valorisation*. Tese de obtenção de mestrado em biologia em proteção do ambiente. Universidade Mouloud Mammeri de Tizi-Ousou Departamento Biologia e Agronomia, Algeria. 2016.

AMBIPAR GROUP. Valorização de resíduos: o que é?. 2021 Disponível em: <https://ambipar.com/noticias/valorizacao-de-residuos-o-que-e/>. Acesso em; 24/01/2021.

ARAÚJO, R. J. C., OLIVEIRA, J. B. C., TARGINO, V. A., QUIRINO, M. R. Reação de saponificação: ensino da química contextualizada e experimental no estudo dos lipídios. **10 ° Congresso Nacional da Educação - CONEDU**. Paraíba. 2018.

ARLINDO, J. A. M., THOMAZ, D., SANTO, A. V., LIGABO, M. C. Estudo dos efeitos do índice de acidez e umidade dos óleos de soja e algodão residuais de fritura frente a produção de biodiesel. **IV EnICT - Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica**. IFSP – Câmpus Araraquara. 24 e 25 de outubro de 2019.

ATADASHI, I. M., AROUA, M. K., ABDUL AZIZ, A. High quality biodiesel and its diesel engine application: **A review**, n. 14, v. 7, p. 1999 – 2008, 2010.

AUTORIDADE DE SEGURANÇA ALIMENTAR E ECONÔMICO (ASAE). Óleos de frituras. Órgão de Polícia Criminal da Republica Portuguesa. 2017. Disponível em: <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/conselhos-praticos-para-os-consumidores/oleos-de-fritura.aspx>. Acesso em: 08 de Agosto de 2021.

BARBOSA, L. C. A. Introdução à química orgânica. **São Paulo: Pretice Hall**, 2011.

BARBOSA, S. A. Desenvolvimento de Biodetergentes utilizando biossurfactante como matéria prima. Tese Doutorado em Biotecnologia industrial. Universidade Federal Sergipe.

BERNI, J. V., DOLFINI, N., MEDEIROS, J. F., ALMEIDA, F. N., PEREIRA, N.C. análise comparativa de métodos de purificação de ésteres etílicos da blenda de sebo bovino e óleo de fritura. **XXXVII enem - Congresso Brasileiro de Sistemas Particulares**, 18 a 21 de Outubro de 2015.

BEZERRA DE OLIVEIRA, J. A., AQUINO, K. A., SILVA, B. K.,TIMÓTEO, W. C. Óleo residual de frituras: Uma abordagem interdisciplinar na perspectiva da educação ambiental na educação básica. **Rev. ea**, v. 10, n. 76 · Setembro-Novembro/2021.

BRASIL. Fundação Estadual do Meio Ambiente; Fundação Israel Pinheiro. Plano de Gerenciamento Integrado do Resíduo Óleo de Cozinha. Belo Horizonte, p. 25, 2009.. 2011.

BUMBA, M. A. C., YAMAMURA, H. Produção de biodiesel a partir de óleo de fritura: Uma alternativa sustentável. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis-SC. 19 - 22 out, 2014.

CAMARGO, R. P. L., & CARVALHO, C. R. R. Estudos de Viabilidade Econômica da Utilização dos Óleos e Gorduras Residuais para Produção de Biodiesel no Brasil. **Revista Processos Químicos**, n. 8,v. 15, p.39-48. 2014.

CAVALCANTE, K. S. B., PENHA, M. N. C., MENDOÇA, K. K. M., LOUZEIRO, H. C., VASCONCELOS, A. C. S., MACIEL, A. P., SOUZA, A. G., SILVA, F. C. Optimization of transesterification of cator oil with ethanol using a central omposite rotatable design (CCRD). **Fuel**, v. 89, n. 5, p. 1172 -1176. 2010.

CASTRO, L. M., VERMELHO, M. V. S. Auditoria ambiental para qualificação de fornecedores de disposição final de resíduos. **1º Congresso Sul-Americano dos resíduos sólidos e sustentabilidade**. Gramado- RS, Brasil.12 a 14 de Junho 2018.

CENTRO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E BIOCOMBUSTÍVEL – CEISE. Brasil é o segundo maior produtor de biodiesel do planeta. Disponível em: ceisebr.com/conteudo/brasil-e-o-segundo-maior-produtor-de-biodiesel-do-planeta.html. Acesso em 31/01/2022.

CLAYDEN, J. G., WARREN, S., WOTHERS, P. *Organic Chemistry*, **Oxford university press**. New York. 2001.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado. ed 4. p.316. São Paulo. 2018.

COSTA, B. J., OLIVEIRA, S. M. M. Biodisel. TECPAR- Instituto de Tecnologia do Paraná, SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, **Dossiê Técnico**. 2021.

CRUZ, R. S. P. Biodiesel: uma nova realidade energética no Brasil. **Bahia Análise e Dados Salvador**. v. 6, n. 1, p. 97 - 106. 2006.

CUNHA, E. S. TRANCOSO, M. D. A importância da coleta do óleo usado para o meio ambiente. v. 12, n. 44. Junho-Agosto. 2013.

Da COSTA, D. A., LOPES, G. R., LOPES, J. R. Reutilização Do Óleo De Fritura Como Uma Alternativa De Amenizar A Poluição Do Solo. **Revista Monografias Ambientais - REMOA. Revista do Centro das Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria. v.14, 2015, p.243-253. 2015.

DAMASCENO, A. P. B., SILVA, A. A., V, F. P., SILVA FILHO, H. J., MENDES, M. B. G. Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Óleo Residual de Cozinha, com Coletas em Estabelecimentos de Maceió-AL Para Geração De Biodiesel. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ed. 02, v. 1, pp. 150-159, Fevereiro de 2018.

Da SILVA JÚNIOR, W. F.; De ALMEIDA ARAUJO, L. Óleo de cozinha como agente poluente do meio ambiente: uma avaliação dos seus impactos por meio dos moradores de paulista-pe. **Revista Vivências em Ensino de Ciências**. 3ª ed Especial. v.02. 2018.

De CARVALHO, C. O. Comparação entre métodos de extração do óleo de mauritia flexuosa l.f. (arecaceae - buriti) para o uso sustentável na reserva de desenvolvimento tupé: Rendimento e atividade antimicrobiana. Tese de obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia e Recursos Naturais. Universidade do Estado do Amazonas. Manaus. 2011.

De JESUS, A. L. S. Gerenciamento sustentável de resíduos sólidos urbanos e rurais. **Ciências exatas e tecnológicas**. Aracaju. v. 2 n. 2 p. 11-22. Out. 2014.

DELATORRE, A. B.; RODRIGUES, P. M.; AGUIAR, C. J.; VANESSA VICENTE VIEIRA ANDRADE. V. V. V.; ARÊDES, A.; PEREZ, V. H. Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. **Biológicas & Saúde**, v. 1, n. 1, 2011.

DIB, F. H. Produção De Biodiesel A Partir De Óleo Residual Reciclado E Realização De Testes Comparativos Com Outros Tipos De Biodiesel E Proporções De Mistura Em Um Moto-Gerador. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista de Ilha Solteira. 2010.

DISCOZI, G. S. Coleta seletiva do óleo residual domestica: Desafios e perspectivas para um aproveitamento socioambiental E Sustentável. Dissertação de mestrado do programa pós-graduação em engenharia ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. 2014.

DWIGHT, T.; PRAKASH, L.; DAVID, S. **Biofuels** || *Biodiesel Production, Properties, and Feedstocks*. Cap 15, p. 285 – 347. 2011.

ECÓLEO (Associação Brasileira Para Sensibilização, Coleta, Reaproveitamento E Reciclagem De Resíduos De Óleo Comestível). **Reciclagem do óleo**. Disponível em: <<http://ecoleo.org.br/projetos/6766-2/>> Acesso em: 11 de julho de 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES (EBSERH). Plano de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. v. 9. p. 1-43. 2021.

ESTRATÉGIA NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL - ENEA. Valorização dos resíduos. 2020. Disponível em: https://docs.google.com/document/d/1u6xlInezohC73VntuVZQND_TYe46qSVDv2AdRFuMPsU/edit#. Acesso em: 24/12/2021.

FANTINEL, A. L. Análise da produção de biodiesel em pequena unidade de processamento empregando óleo residuais como matéria-prima. Tese de mestrado em Engenharia Produção 2016.

FERRARI, R. A., SCABIO, A., OLIVEIRA, V. S. Produção e uso de biodiesel etílico na UEPG. Publ. **UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.**, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, p. 45-52, ago.2004.

FIATKOSKI, M. V., SANTANA DA SILVA, J. O., MACENO, C. M. M. Proposta de sistema de logística reversa de óleo de cozinha residual em centro urbano: estudo de caso em um bairro no município de Curitiba – pr. **X congresso de brasileiro de engenharia de produção**. 02 a 04 Dezembro, 2020.

FUENTES, P. H. A. - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÓLEOS DE SOJA, CANOLA, MILHO E GIRASSOL DURANTE O ARMAZENAMENTO. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis., 2011.

FUNDAÇÃO DE NACIONAL DE SAUD (FUNASA). Manual de orientações técnicas para elaboração de proposta para o programa de resíduos sólidos. ed. 1. 2014.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA(IEA). Óleos Vegetais para Alimentos ou para Biodiesel?. **Rev. análise e indicadores do agronegócio** v.6, n. 6. junho. 2011.Diponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=12153>. Acesso em: 04/11/2021.

ISAC G., ANDRE, L. M. Catálise Enzimática: Transesterificação do Óleo de Soja e Esterificação do Ácido Oleico via Lipases. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 64- 78, 2015.

JACOBI, P. R., BEZEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: **Desafios da sustentabilidade - Estudos avançados- São Paulo em perspectiva**, São Paulo. v25. n.72.

HOCHSCHEIDT, B. D., POSSAMAI, E. S., SILVA, M. P. M., DIETER, J., SILVA, F. R., SEQUINEL, R. Neutralização ou Esterificação como Técnicas de Melhoria dos Insumos para Produção de Biodiesel. **Rev. Virtual Quim**, 2020, v. 12 , n. 2, p. 325-334. 31 de Março de 2020.

LEUNG, D. Y. C., WU, X., LEUNG, M. K. H. *A review on biodiesel production using catalyzed transesterification*. **Applied Energy**, v. 87, n. 4, , p. 1083-1095, April 2010.

LUCAS DE LIMA, C. J. R. Destinação do óleo de fritura proveniente dos restaurantes de Paranavaí. Monografia para obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira. 2014.

LYRA, G. B. Viabilidade econômica e risco do cultivo de mamão em função da lâmina de irrigação e doses de sulfato de amônio. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.32, n.3, p.547-554, 2010.

MACEDO, L. G. M. D., SILVA, U. R. D. L., SOARES, A. A., MELO, D. C. D. M. Produção de sabão ecológico a partir de óleo reciclado. **EXPOTEC**, 2017.

MALACRIDA, C. R. Alterações do óleo de soja e da mistura azeite de dendê - óleo de soja em frituras descontínuas de batatas chips. *Braz. J. Food Technol.* São Paulo, v.6, n.2, p. 245-249, 2003.

MARINS, D. S.; SANTOS, M. E. Pré-tratamento do óleo residual de fritura para elevação do pH e diminuição de sólidos para a produção de biodiesel. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, n. 5, p. 1-20, 2017.

MENEGHETTI, S. P., MENEGHETTI, M. R., BRITO, Y. C. A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, 2013.

MIGUEL, A. C., FRANCO, D. M. B. Logística reversa do óleo de cozinha. **Revista Científica – Faculdade Anchieta**. n. 9, p. 3-13, 2014. ISSN 1980-3125. Disponível em: <http://www.faculdadeanchieta.edu.br/revista-cientifica/>. Acesso em: 12 julho. 2021.

MISHRA, V. K., GOSWAMI, R. *A review of production, properties and advantages of biodiesel*. **Biofuels**, v. 9, n. 2, p. 273–289, 2017.

MONTEIRO DA ROCHA, S. DE CASTRO, R. R. LUSTOSA, K. B. Política brasileira de resíduos sólidos: Reflexões sobre a geração de resíduos e sua gestão no município de Palmas-TO. **Rev. Esmat**. n. 13, p. 29-49. Dez. 2017.

NASCIMENTO, R. M., NÓBREGA, V. O., SOUZA, A. O. Purificação e caracterização de óleos residuais de frituras domésticas visando reaproveitamento. **Congresso Nacional da Diversidade do Seminário - CONADIS**. Petrolina - PE. 2018.

NEVES DA SILVA, A. M. Gestão do óleo vegetal residual de fritura visando a sustentabilidade. Tese de mestrado em desenvolvimento e meio ambiente da Universidade Federal de Sergipe. 2013.

OLABS. *Saponification-Le processus de fabrication du savon*. 2013. Disponível em: <http://www.olabs.edu.in/?brch=3&cnt=1&sim=119&sub=73&lan=fr-FR>. Acesso em: 25/11/2021.

OSAKI, M., BATALHA, M. O. Produção de óleo biodiesel e óleo vegetal no Brasil: Realidade e desafio. **Organizações Rurais & Agroindustriais**. v. 13, n. 2, p. 227-242, 2011.

OSAWA, C. C., GONÇALVES, L. A. G., M, F. M. Avaliação dos óleos e gorduras de fritura de estabelecimentos comerciais da cidade de campinas/sp. As boas práticas de fritura estão sendo atendidas?. **Rev. Alim Nutr.**, Araraquara. v. 21, n. 1, p. 45-55, jan/mar. 2010.

PACHECO, J. T., KAWANISHI, J. Y., PACHECO, M. Z. Meio ambiente: Inovação com sustentabilidade. ed. **Atena**. v. 3. 2020.

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

PATIL. P., DENG. S., ISAAC R. J., LAMMERS P.J. *Conversion of waste cooking oil to biodiesel using ferric sulfate and supercritical methanol processes*. **Fuel**; 89:360–4. 2010.

PINTO, J. S. S., LANÇAS, F. M. Hidrólise do óleo de azadirachta indica em água subcrítica e determinação da composição dos triacilglicerídeos e ácidos graxos por cromatografia gasosa de alta resolução a alta temperatura e cromatografia gasosa de alta resolução acoplada à espectrometria de massas. **Rev. Quim. Nova**, v. 33, n. 2, p. 394-397, 2010.

PROGRAMA DE GESTÃO AMBIENTAL - PGA. Sabão feito com óleo de cozinha: uma forma de diminuir o efeito estufa e a contaminação das águas. 2012. Disponível em: <http://pga.pgr.mpf.gov.br/praticas-sustentaveis/sabao> Acesso em 11 de julho 2012.

PROJETO E PESQUISA EM ENGENHARIA QUÍMICA (PROPEQ). Como tratar resíduos e efluentes industriais de forma adequada?. Mercado. Agosto. 2020. Disponível em: <https://propeq.com/residuos-industriais/>. Acesso em: 11/01/2021.

QUEIROZ, D.S. Transesterificação de triacilglicerol de óleo de milho e de soja: análise quimiométrica do processo e propriedades físico-químicas essenciais do produto, para uso como biodiesel. Doutorado, Programa multi-institucional de Doutorado em Química da UFG/UFMS/UFU, Uberlândia, 2011.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. **Rev. Virtual Quim.** v. 5, n.1, p2-15. 2012.

RECOIL. Guide on UCO processing and biodiesel distribution methods: Assessment of best practices in UCO processing and biodiesel distribution. **Intelligent Energy for Europe Programme**. p.37. 2013.

RIOS, H. C. S., PEREIRA, I. R. O., ABREU, E. S. Avaliação da oxidação de óleos, gorduras e azeites comestíveis em processo de fritura. **Revista Ciência & Saúde**, v. 6, n. 2, p. 118-126, mai./ago. 2013.

RODRIGUES, G. F. S., COSTA, J. C., BRITO, W. S., RAPOSO, G. M. M., OLIVEIRA, A. K. C. Reaproveitamento do óleo residual de fritura: o potencial do reuso em natal/rn para produção de biodiesel. **CONADIS - Congresso Nacional da Diversidade do Seminário**. 2018.

RODRIGUES, R. Extração, refino e hidrogenação de óleos e gorduras. Trabalho de conclusão para obtenção de diploma em Química Industrial. **Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis**. 2014.

RODRIGUES, W., SANTANA, W. C. Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO. **Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, v. 4, n. 2, p. 299-312, jul./dez. 2012.

RAMOS, L. P. A Qualidade da Matéria-Prima para a Produção de Biodiesel. **Biodieselbr**. 2011. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/ramos/qualidade-materia-prima-producao-biodiesel-2>. Acesso em: 31/01/2022.

ROSA, A., MIRANDA, A. G. G., LEWANDOSKI, C. F., SANTOS, R. F. Produção de biodiesel de óleo cru refinado e óleo de fritura de soja. **Acta Iguazu, Cascavel**, v.9, n.2, p. 59-66, 2020.

ROSA DA SILVA, T. A. Biodiesel de óleo residual: Produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-químico e otimização das condições reacionais. Tese da obtenção do título de Doutorado em Química apresentada ao Programa Multi-institucional de Doutorado em Química em UFG/UFMS/UFU. 2011.

ROSSI, G. Z, I. R., BORGES, I. R., PEREGO, T. F., TOLEDO, V. D. M., FERREIRA, L. F. P. Análise técnica da produção do biodiesel a partir do óleo de fritura residual. **Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**, v. 4, n. 1, 2018.

RUELLA, R. H. B., CORONADO, C. R. Estudo da produção de biodiesel a partir de óleo de fritura: revisão bibliográfica e estudo da produção de biodiesel a partir de óleo de fritura: revisão bibliográfica e procedimentos experimentais. **VII CONEM** - Congresso Nacional De Engenharia Mecânica, São Luis Maranhão, 31 de julho a 03 de agosto, 2012.

SAIDI, A., SALMI, N. I *Approche d'étude sur les perspectives de la valorisation des huiles alimentaires usagées*. Tese de obtenção de mestrado em ecologia fundamental e aplicada. Universidade des Frères Mentouri Constantine departamento biologia e ecologia vegetal. 2019.

SANTOS, G. M., BRITO, M. M., SOUSA, P. V. L., BARROS, N. V. A. Determinação do índice de acidez em óleos de soja comercializados em supermercados varejistas. **Rev ciência saúde**. v. 2, n. 2, p. 11-14. 2017.

SANTOS, L. S. C. Obstáculos para a valorização dos resíduos sólidos urbanos no centro-oeste. **Rev. Oswaldo Cruz**, ed. 16. Out-dez. 2017.

SANTOS, T. ROVARIS, N. R. S. Cenário brasileiro da gestão dos resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva. **Anais do VI SINGEP** – São Paulo – SP – Brasil – 13 e 14/11/2017.

SILVEIRA, D. A., VIEIRA, G. E. G. Emprego do óleo residual de fritura na produção do biodiesel. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ)**. Florianópolis-SC. 19 - 22 de outubro de 2014.

SILVA, R., GUZZATO, R., SAMIOS, D. ALBORNOZ, L. Estudo da conversão de óleo de soja em biodiesel em função do tempo, utilizando a metodologia TSDP. **6º Simpósio Nacional de Bocombustível**. Canoas - RS, 24 - 26 de Abril. 2013.

STAINIER, E. *Une opération bien réelle des huiles et graisses de friture usagées en biodiesel*. **Manual**. p. 4. 2013.

VIERA, A. M. S., Da SILVA, M. A., MENDES, T. F., De CARVALHO, Q. C., De Souza, G. S. Reaproveitamento Do Óleo De Cozinha Para A Fabricação De Sabão: Uma Ação

Sustentável Voltada Para Educação Ambiental. Educação Ambiental em Ação. **Rev.** v. 20, n. 75. Agosto. 2021. Disponível em: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=2751>. Acesso em: 10 de Agosto, 2021.

VINEYARD, P. M., FREITAS, P. A. M. Estudo e caracterização do processo de fabricação de sabão utilizando diferentes óleos vegetais. **38ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia**, v. 25, 2014.

VINYES, E., SOLÀ-OLIVEIRA, J., UGAYA, C., RIERADEVALL, J., GASOL, C. M. Application of LCSA to used cooking oil waste management. **Life Cycle Management**, v 18, p.445-455, 2012.

WEYER, M. Resíduos sólidos domésticos: estudo de caso do óleo vegetal residual no bairro Morada da Serra - Cuiabá/MT. **Revista Geonorte**, V.6, N.24, p.62-80, 2015.

YONG, Z., XIANGTAI, B., GANG, R., XIAOHUA, C., JIAN, L. Analysing the status, obstacles and recommendations for WCOs of restaurants as biodiesel feedstocks in China from supply chain' perspectives. **Resources, Conservation and Recycling**. v 60, p. 20-37, 2012.

ZAGO, V. C. P., BARROS, R. F. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Eng Sanit Ambient.** v.24 n.2 . p.219-228. mar/abr 2019.

ZUCATTO, L.C., WELLE, I., SILVA, T.N. Cadeia Reversa do Óleo de Cozinha: Coordenação, Estrutura e Aspectos Relacionados. **Revista de Administração de Empresas, São Paulo**, v. 53, n. 5, p. 1-12. 2013.

ANEXO I

A massa molar do óleo residual de fritura de soja

Considerou-se que a massa molar do óleo residual de fritura de soja é de 873,32g/mol.

A massa de óleo residual de fritura utilizada na reação de transesterificação

Considerou-se que a densidade do óleo residual de fritura é de 93 g/L, então com isso foi determinada a massa do óleo que no caso corresponde a 1.860.000g.

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{Equação 1}$$

$$93 = \frac{m}{20000}$$

$$m_{\text{óleo residual de fritura}} = 1.860.000\text{g}$$

A massa de álcool necessária para transesterificação de 20000L de óleo residual de fritura de soja

Para a reação de transesterificação foi utilizado um excesso de álcool na proporção de 1:12 (óleo:álcool). Baseado nesta proporção foi calculada a quantidade de metanol a ser usada no processo, que neste caso, corresponde a 818865,504g, conforme demonstrado na sequência.

$$n_{\text{óleo}} = \frac{m_{\text{óleo}}}{M_{\text{óleo}}} \quad \text{Equação 2}$$

onde:

n = número de mols de óleo

m = massa de óleo

M = massa molar média do óleo

Então vem:

$$n_{\text{óleo}} = \frac{1860000}{873,32}$$

$$n_{\text{óleo}} = 2129.8 \text{ mols de óleo}$$

A proporção de óleo: álcool é de 1: 12 então:

$$n_{\text{álcool}} = 2129,8 * 12 = 25557,6 \text{ mols de álcool}$$

$$m_{\text{álcool}} = n_{\text{álcool}} * M_{\text{álcool}} \quad \text{Equação 3}$$

$$m_{\text{álcool}} = 25557,6 * 32,04 = 818865.504\text{g}$$

$$V_{\text{álcool}} = \frac{m_{\text{álcool}}}{d_{\text{álcool}}} \quad \text{Equação 4}$$

$$V_{\text{álcool}} = \frac{818865,504}{792} = 1034 \text{ L de metanol}$$

A massa de catalisador necessária para transesterificação de 20000L de óleo residual de fritura de soja

Para Catalisador (NaOH) utilizou-se uma proporção de 0,8% $m/m_{\text{óleo}}$

$$m_{\text{NaOH}} = \frac{0.8 * 1860000}{100}$$

$$m_{\text{NaOH}} = 14880\text{g ou } 15\text{kg de catalisador}$$

Para uma conversão de 92% temos: $20000 * 0.92 = 18400\text{L/mês}$

ANEXO II

Figura 19: Material educativo sobre óleo residual de fritura



Fonte: Autoria própria, 2022