INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

CAMPUS PALMAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KAINÃ RODRIGUES VIEIRA

PIRÓLISE DE ÓLEO DE FRITURA PARA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

PALMAS

2021

KAINÃ RODRIGUES VIEIRA

PIRÓLISE DE ÓLEO DE FRITURA PARA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Título de Bacharel do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

V657p Vieira, Kainã

Pirólise de óleo de fritura para obtenção de biocombustível / Kainã Vieira. – Palmas, TO, 2021.

36 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Marcelo Pedroza
Coorientador: Dr. Claudia Rezende

1. BIOCOMBUSTÍVEL. 2. PIRÓLISE. 3. SUSTENTABILIDADE. I. Pedroza, Marcelo. II. Rezende, Claudia. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

KAINÃ RODRIGUES VIEIRA

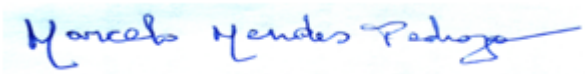
PIROLISE DE ÓLEO DE FRITURA PARA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Título de Bacharel do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas.

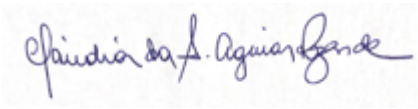
Orientadora: Prof. Dr Marcelo Mendes Pedroza

Aprovado em: 13 / 05 / 2021

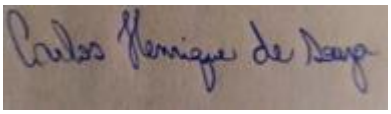
BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)



Profª. Drª. Cláudia da Silva A. Rezende
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)



Carlos Henrique de Souza
Engenheiro Químico

PALMAS
2021

RESUMO

VIEIRA, K.R. **Pirólise em óleo de fritura para obtenção de biocombustível.** 2021. Projeto de Trabalho de conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

Atualmente um dos grandes gargalos que se tem nas cidades é relacionado à gestão de resíduos e o seu descarte final, especificamente de resíduos cujo a disposição final e o tratamento não existem ou são extremamente caros e inviáveis, causando assim uma má disposição de resíduos no meio ambiente, levando transtorno ambiental em forma de vários outros contratempos. Um bom exemplo de resíduo, cujo a gestão é precária e não há um tratamento final, são os óleos e graxas provenientes de residências e redes de *fast food*, cujo o descarte é feito em sua maioria na rede de esgoto, que por sua vez não possui capacidade de tratamento desse tipo de resíduos, isso quando não é lançado diretamente no corpo hídrico. Diante dessa problemática, o presente trabalho tem como objetivo aproveitar o óleo de fritura para a produção de bio-óleo através do processo de pirólise. Esse procedimento mostrou ser uma alternativa para o destino de óleos de acordo com os resultados obtidos neste trabalho. O óleo para a realização dos experimentos foi coletado em uma loja pertencente à uma rede de *fast food* localizada na cidade do presente trabalho. O reator utilizado foi do tipo cilindro de leito fixo, que não apresenta grandes diferenças no produto final quando comparado a outros tipos de reator de degradação térmica, a variação de temperatura foi de 200°C elevando-se até 350°C em um intervalo de 20 minutos. A proposta ao final da pirólise foi a realização de ensaios de densidade, pH, análises instrumentais para identificação de compostos e a eficiência do processo. O bio-óleo apresentou uma densidade de 1,0524 g/mL, um pH ácido característico desse tipo de produto de 3,11, além de apresentar compostos com baixa quantidade de carbono na estrutura química, devido degradação térmica, bem como uma eficiência de 89,84% entre matéria prima e bio-óleo. Os resultados demonstram números animadores em comparação com outras bio-óleos e biomassas, favorecendo a sua aplicação como biocombustível.

Palavras-chave: Resíduo; óleo de fritura; pirólise; bio-óleo.

ABSTRACT

VIEIRA, K.R. **Pyrolysis in frying oil to obtain biofuel.** 2021. Project for the Completion of a Course - Bachelor in Civil Engineering - Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2021.

Currently, one of the major bottlenecks in cities is related to waste management and its final disposal, specifically waste whose final disposal and treatment do not exist or are extremely expensive and unviable, thus causing a poor disposal of waste in the environment. environment, leading to environmental disturbance in the form of several other setbacks. A good example of waste whose management is precarious and there is no final treatment, are oils and greases from homes and fast food chains, the disposal of which is mostly done in the sewer network, which in turn does not have capacity to treat this type of waste, when it is not released directly into the water body, in the face of this problem, the present work aims to take advantage of the frying oil for the production of bio-oil through the pyrolysis process. This procedure proved to be an alternative for the destination of oils according to the results obtained in this work. The oil for carrying out the experiments was collected in a store belonging to a fast food chain located in the city of the present work. The reactor used was of the fixed bed cylinder type, which does not present great differences in the final product when compared to other types of thermal degradation reactor, the temperature variation was 200 ° C, rising to 350 ° C in a range of 20 minutes. The proposal at the end of the pyrolysis was to carry out density, pH, instrumental analyzes for the identification of compounds and the efficiency of the process. The bio-oil had a density of 1.0524 g / mL, an acidic pH characteristic of this type of product of 3.11, in addition to having compounds with a low amount of carbon in the chemical structure, due to thermal degradation, as well as an efficiency of 89.84% between raw material and bio-oil. The results show encouraging numbers in comparison with other bio-oils and biomass, favoring its application as biofuel.

Keywords: Residue; waste frying oil; pyrolysis; bio-oil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática das atividades 20
Figura 2 - Reator de Cilindro de Leito Fixo para Pirólise de Biomassa 21
Figura 3 - Sistema de reator cilindro rotativo para pirólise 22
Figura 4 - Medidor de pH 23
Figura 5 - Bio-óleo obtido após processo de pirólise 25
Figura 6 - Amostra de matéria prima em balança de precisão 26
Figura 7 - Produto final em balança de precisão 27
Figura 8 - Medidor de pH 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variantes do Processo de Pirólise 14
Tabela 2 - Condições cromatográficas empregadas na análise do bio-óleo 23
Tabela 3 - Valores de pH 28
Tabela 4 – Tempo de retenção dos compostos presentes no bio-óleo durante a pirólise de óleo residual 29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA 11
1.2. JUSTIFICATIVA 11
1.3. OBJETIVOS 13
1.3.1. **Objetivo geral** 13
1.3.2. **Objetivos específicos** 13
2. REVISÃO DE LITERATURA 13
2.1. PIRÓLISE 13
2.1.1. **Aplicações dos Produtos da Pirolise** 14
2.2. BIOCOMBUSTÍVEL 15
2.3. ÓLEO DE FRITURA USADO 16
2.4. REATOR DE CILINDRO 17
2.4.1. **Reator de Cilindro Rotativo** 17
2.4.2. **Reator de Cilindro Leito Fixo** 18
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 19
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS 19
3.2. LOCAL DE COLETA DO ÓLEO 20
3.3. PIRÓLISE 21
3.3.1. **Reator de pirólise** 21
3.3.2. **Variação de temperatura no Processo** 21
3.4. CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO 22
3.4.1. **Densidade e pH de amostras de bio-óleo** 22
3.4.2. **Análises Instrumentais para definição de compostos** 23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 24
4.1. **EFICIENCIA DO PROCESSO** 26
4.2. **DENSIDADE** 27
4.3. **PH** 28
4.4. **COMPOSTOS DO BIO-ÓLEO** 29
5. CONCLUSÃO 32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 33

1. INTRODUÇÃO

A busca por energia e combustíveis renováveis vem se intensificando ao logo dos anos devido a necessidade de diminuição de emissão de gases de efeito estufa, compostos poluentes lançados na atmosfera esgotamento de recursos finitos como o petróleo, que nos dias atuais é a principal matriz energética, servido como matéria prima para grande parte dos combustíveis fósseis que são utilizados em motores a combustão nos mais variados tipos de veículos automotores.

Segundo Cardoso (2005) o processo de obtenção de combustível através do petróleo ocorre pela destilação do produto bruto, onde os subprodutos são utilizados de acordo com suas características, como a pureza, ponto de fulgor, poder calorifico, entre outras características que um combustível deve apresentar para a utilização em motores a combustão. Da destilação do petróleo obtém-se os lubrificantes, parafina e asfaltos, o óleo comum, e os combustíveis, diesel, querosene e gasolina, além dos gases butano e propano. Destes subprodutos a gasolina é a mais valiosa devido ao menor número de carbono em sua estrutura molecular o que concede uma maior pureza e menor ponto de fulgor em relação aos outros derivados.

O petróleo é uma matéria prima fundamental para a produção atual de combustível, porém por não ser renovável, busca-se outras alternativas de obtenção e combustível a partir de matérias primas renováveis que possibilitam a produção de combustíveis ou misturas capazes de serem utilizadas como fonte de energia limpa para motores (URTADO *et al*, 2015). Diante deste cenário a pirólise de materiais orgânicos para obtenção de combustível se mostra uma alternativa para extração de subprodutos voláteis com cadeias carbônicas pequenas o suficiente para terem viscosidade, ponto de fulgor e poder caloríficos ideias para serem usados como biocombustíveis ou mistura para bioprodutos já difundidos (PEDROZA, 2011).

Um grande problema atual nas cidades é o descarte resíduos sólidos como óleos e gorduras saturadas de origem vegetal proveniente de residências e restaurantes, que não possuem um local ideal para descarte, e que acabam indo parar na rede de tratamento de esgoto ou mananciais, aumentando assim o custo operacional, além de causar problemas ambientais, devido ser um material orgânico que muda as características físico químicas do meio ambiente em que é lançado, podendo causar eutrofização, contaminação e mortandade de peixes. O processo de piróolise aparece como uma possível solução para esse problema, uma vez que por ser um produto já sintetizado proveniente de plantas oleaginosas, possui um grande potencial de obtenção e subprodutos combustíveis voláteis e gases inflamáveis que podem ser utilizados como fonte de energia para o próprio processo (PEDROZA, 2011).

O processo consiste na utilização de um reator de cilindro rotativo que recebe a biomassa que será aquecida em temperaturas que podem variar, entre 350°C e 600°C, e sem a presença de um agente oxidante, com o objetivo principal sendo a quebra de ligações moleculares entre os átomos de carbono, obtendo subprodutos com cadeias carbônicas menores, sendo eles carvão, ácidos, gases, e o principal, o bio-óleo. O objetivo é verificar a faixa de temperatura em que a obtenção de bio-óleo é maior para tornar a eficiência do processo o maior possível (FONTES, 2011; PEDROZA 2011; KUNII E CHISAKI, 2008).

O intuito do estudo é apresentar uma possível destinação para a grande quantidade de óleo de fritura usado que é diariamente lançada nas redes de esgoto e mananciais, que uma vez bem difundida e com estudos cada vez mais aprofundados tem um futuro promissor como uma nova fonte de combustível ou mistura para combustíveis renováveis a serem introduzida na nova matriz energética sustentável para onde aponta o futuro (KARAYILDIRIM; YANIK; YUKSEL, 2006).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Visto que o óleo de fritura usado, por suas características moleculares, é uma potencial matéria prima para a produção de bio-óleo através do processo de pirólise, e que esse sistema pode ser auto sustentável, uma vez que os gases provenientes do processo podem servir de combustível no sistema, e essa técnica pode se tornar uma ótima opção para o processo de descarte sustentável de gordura e óleos de frituras usados em residências e estabelecimentos comercial, a questão problema principal é estudar a viabilidade de uso de um bio-óleo proveniente de óleos de fritura usados, como opção de um biocombustível de acordo com suas características físico químicas ao final do processo pirolítico.

1.2. JUSTIFICATIVA

Fontes de energias limpas e renováveis se mostram um objetivo bem partilhado por diversas nações do mundo, uma vez que aumentam o número de tratados internacionais para redução de lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera através de políticas públicas de incentivo fiscal para redução de consumo de combustíveis fósseis, já que esses são em sua grande maioria grandes responsáveis pela matriz energética mundial e também grande fonte de agentes poluentes através de sua queima em fábricas e veículos automotores., além de que a

destilação de petróleo para a produção de combustível é um processo de custos elevados e Segundo Petrobrás (2009) o custo médio do barril de petróleo passou de US$ 20 mil para US$ 50 mil, devido à novas tecnologias incorporadas para a redução de emissão de gases de efeito estufa.

O uso do óleo de fritura como matéria-prima na obtenção de biocombustível através da degradação térmica não oxidante, mostra-se como uma alternativa sustentável com vantagens como prevenção de impactos ambientais provenientes da má gestão na disposição de resíduos como os óleos e graxas advindos de frituras em residências e restaurantes como *fast food*, e transformando esse resíduo em um produto com valor econômico, como bio-óleo e gases combustíveis. Esse processo se mostraria como solução para dois problemas, a má disposição de resíduos oleosos e a geração de energia limpa.

No Brasil foi criada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) através da Lei n° 13.576/2017, que incentiva a produção de biocombustíveis, como etanol e biodiesel. A legislação estabelece metas anuais para redução de emissão de gases de efeito estufa, assim como alguns compromissos firmados pelo Brasil no acordo climático global. Tem como principal objetivo a expansão da produção de biocombustíveis no país através da adição obrigatória de bioprodutos combustíveis aos já tradicionais combustíveis de origem fóssil.

A RenovaBio se tornou um grande incentivo para pesquisas em processos já difundidos, como bioprodutos obtidos através de plantas oleaginosas como mamona, milho, soja, bagaço de cana de açúcar, entre outras. Também abrindo espaço para a pesquisa científica que busca soluções em outras matérias primas que possam apresentar igual ou melhor resultado que os já difundidos atualmente.

Os estudos são fundamentais para uma possível difusão do processo para uma escala industrial, uma vez que caso apresente bons resultados em comparação com os processos mais conhecidos, pode se colocar na disputa como um novo processo e um novo produto a ser utilizado como mistura ou até mesmo combustível, dependendo de suas características, uma vez que há alguns estudos sobre bio-óleo obtido através do processo de pirólise.

Uma vez difundido, o produto pode não ser apenas uma fonte de desenvolvimento econômico sustentável para a região em que será implantada, mas também uma alternativa para um descarte viável, consciente e inteligente para um produto que causa tanto transtorno para o meio ambiente, operações de tratamento de água e esgoto e traz prejuízo econômico-social para as cidades.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. **Objetivo geral**

Realizar pirólise de óleo de fritura para a obtenção de bio-óleo visando a aplicação industrial.

1.3.2. **Objetivos específicos**

- Analisar eficiência de produção de óleo de acordo com a relação entre o produto e subproduto;
- Estudar as características do bio-óleo obtido no processo;
- Verificar compostos encontrados no bio-óleo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. PIRÓLISE

A pirólise que também pode ser definida como uma destilação destrutiva, onde ocorre o rompimento de ligações químicas de cadeias orgânicas de um determinado material através do calor, tendo como subprodutos gases, líquidos e ceras, em que sua quantidade dependerá do material e da temperatura em que foi submetida (CAPONERO, 2002).

Pedroza (2011) define pirólise como um processo de degradação térmica que consiste em aquecer um determinado material, normalmente a uma temperatura entre 300°C e 600°C, em uma um ambiente com uma ausência total ou parcial de um agente oxidante, ou seja, como pouca presença de ar, consequentemente, sem a presença de oxigênio, realizando assim uma degradação térmica a altas temperaturas, porém sem a presença de fogo. Os subprodutos desse processo são vapores formados que após serem resfriados produzem produtos, geralmente bio-óleos, finos de carvão e gases pirolíticos, que podem possuir um certo poder calorífico para geração de energia para o próprio processo, para o mercado local, e, até mesmo como uma fonte energética combustível para usos em indústria petroquímica (KARAYILDIRIM; YANIK; YUKSEL, 2006).

O processo de pirólise se divide em duas categorias, a pirólise lenta e a pirólise rápida, que se diferenciam através de variáveis procedimentais, que são taxa de aquecimento,

temperatura, tempo de residência das fases sólida e gasosa e os produtos desejados, subdividindo os processos em carbonização, convencional, rápido, *flash*-líquido, *flash*-gás, ultra, vácuo, hidro-pirólise e matano-pirólise (VIEIRA, 2004) conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Variantes do Processo de Pirólise

Variantes do processo	Tempo de residência	Temperatura do processo, °C	Produtos obtidos
Carbonização	horas/dias	400 - 450	carvão vegetal
convencional	5 - 30 min	até 600	bio-óleo, carvão e gás
rápida	0,5 - 5 s	500 - 550	bio-óleo
flash-líquido	< 1 s	< 650	bio-óleo
flash-gás	< 1 s	> 650	gás combustível
vácuo	2 - 30 s	400	bio-óleo
metano-pirólise	< 10 s	> 700	produtos químicos
hidropirólise	< 10 s	< 500	bio-óleo e produtos químicos

Fonte: Adaptado de Gómes, (2002)

Pedroza (2011) relata que a principal vantagem do processo ocorre pela facilidade de estocagem da fração líquida orgânica e sólida obtida, além da possibilidade de reutilização desses compostos para fins energéticos, ou como matéria prima para obtenção de outros produtos sintéticos, como resinas e adsorventes. As altas temperaturas são preteridas para maximizar o rendimento da fração gasosa, que é mais fácil de armazenar do que a fração de óleo (MENÉNDEZ *et al.*, 2004). A seletividade dos óleos leves aumenta a altas temperaturas, em consequência de reações de craqueamento. Em sua grande maioria, os hidrocarbonetos leves são preferidos pois facilitam o seu uso como combustível (SHEN E ZHANG, 2004).

2.1.1. **Aplicações dos Produtos da Pirolise**

Segundo Pedroza (2011), subprodutos da pirólise, gasosos, líquidos e sólidos são gerados em diferentes proporções, que vão estar relacionados aos parâmetros procedimentais, como a temperatura do processo, pressão de operação do reator e o tempo de residência dos estados físicos da biomassa dentro do reator, o tempo de aquecimento e a taxa de acréscimo de temperatura nas partículas da biomassa, o ambiente gasoso e às propriedades da biomassa. O produto final deve ter uma densidade energética mais alta e melhores propriedades do que a da biomassa inicial (VIEIRA, 2004).

Pedroza (2011) define bio-óleo como um produto constituído de hidrocarboneto alifáticos e aromáticos, juntamente com mais de 200 compostos identificados com um alto valor energético. Seus compostos podem ser agrupados nas classes n-alcanos e 1-alcenos, com um número de carbono variando entre C11 e C31; hidrocarbonetos monoaromáticos como, benzeno, tolueno, estireno, fenol, 1H-indeno e alguns derivados de alquilas; compostos aromáticos com nitrogênio e oxigênio, como piridina, piridinas alquilas, 1H-pirrol, 1H-indol, isoquinoina, metilquinolinas, 9H-carbazole e benzofurano; nitrilas alifáticas e aromáticas; ácidos carboxílicos (RCOOH), onde R são longas cadeias de carbono com até 18 átomos de carbono; longas amidas de cadeias alifáticas e esteroides, como colestenona, colestadieno ou colestenona formil. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), incluindo a naftalina, metilnaftalenos, bifenil, acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, benzo[g]-quinolina, methyphenantherenes, 11H-benzo[a]-fluoreno, benzo[a]-antraceno, criseno e benzo[a]-pireno foram encontrados nestes óleos (SÁNCHEZ *et al.*, 2009).

A fração sólida que em sua maioria é composta por carvão, resíduo rico em carbono, pode se tornar carvão ativado, que se mostra um ótimo agente de adsorção de resíduos orgânicos e inorgânicos, além de servir para extração de metal, purificação de águas em Estações de Tratamento de Água (ETAs), adsorção de veneno em organismos vivos, limpeza de gases e na remoção de impurezas orgânicas na indústria alimentícia (MENEDEZ *et al.*, 2004)

A mistura de gases formadas no processo, são basicamente, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), hidrogênio (H_2) e hidrocarbonetos de pequenas cadeias carbônicas C2 e C3. Esses gases possuem poder calorífico considerável e podem ser utilizados para produção de energia no próprio processo de pirólise de biomassa ou para secagem das matérias primas, fazendo desse um processo praticamente autossustentável (SANCHEZ *et al.*, 2009).

2.2. BIOCOMBUSTÍVEL

Segundo Azevedo (2016) os biocombustíveis são um tipo de combustível de origem biológica ou natural. É uma fonte renovável de energia utilizada através da queima de biomassa ou de seus derivados, como o etanol, biodiesel, biogás, óleo vegetal e outros. São vistos como alternativas econômica-ambiental quando se pensa em reduzir a queima de combustíveis fósseis. As principais matérias primas utilizadas para a produção de biocombustível são plantas oleaginosas, onde no Brasil as principais são a cana-de-açúcar, mamona, palma, girassol, babaçu, milho, soja, etc. Dentre as vantagens do biocombustível estão o menor índice de

poluição, são renováveis por serem cultivados, diminuem a dependência em relação aos combustíveis fosseis e proporcionam o aumento dos índices de exportação do País favorecendo a balança comercial. A produção de biocombustível no Brasil está voltada fundamentalmente para o setor de etanol e biodiesel.

Câmara (2006) subdivide o biodiesel por classes de acordo com a sua matéria prima como Fontes renovável de óleos vegetais, gorduras de animais e óleos e gorduras residuais, que são os objetos de pesquisa do presente trabalho.

De acordo com os critérios definidos pela National Biodiesel Board (1998), o biodiesel é um derivado mono-alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, produzido a partir de fontes renováveis como óleos extraídos de vegetais ou gordura animal, cuja utilização destina-se a substituição de combustíveis derivados de petróleo em motores de ignição por compressão que utilizam o diesel.

Segundo Guerra e Fuchs (2010) ao contrário da gasolina e do diesel obtido do petróleo, o biocombustível obtido a partir de óleo vegetal é regenerativo, neutro quanto a emissão de dióxido de carbono (CO2) e livre de enxofre, metais pesados e radioatividade, se mostrando ambientalmente melhor, sustentável e uma fonte de energia combustível bem mais limpa se comparada aos combustíveis provenientes de origem fóssil.

2.3. ÓLEO DE FRITURA USADO

O consumo de recursos e a produção de resíduos atingiu patamares extremos nos dias atuais, não só de materiais sintéticos e inorgânicos, mas também de materiais orgânicos e orgânicos de biodegradação lenta, como é o caso de óleos e graxas, e que por isso acabam gerando transtornos no tratamento de efluentes nas ETEs (Estações de tratamento de esgoto).

De acordo com Dobarganes et al (1991), o consumo de alimentos fritos e pré-fritos possuem uma tendência de crescimento, causando uma maior ingestão de óleos e gorduras saturadas submetidas a elevadas temperaturas no processo de preparação, consequentemente um maior lançamento desse tipo de resíduo na rede de esgoto, através do resíduo de óleo saturado não consumido após a fritura.

Os óleos residuais de frituras provêm de diversas atividades de inúmeros locais, dos quais podem ser citados: atividades domésticas, atividades industriais, restaurantes, entre outros. Os óleos em sua maioria são vegetais, podendo ser de semente de girassol, soja, azeite de oliva, óleo de milho, entre outras variações.

IPA (2004) aborda a diminuição de oxigênio dissolvido em corpos hídricos que recebem o despejo de águas contendo óleos, devido ao fato de que esse tipo de água possui uma alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ou seja, possui material orgânico biodegradável consumidor de oxigênio. Sem contar a degradação de fauna e flora que um corpo com alta taxa de óleos e graxas pode causar.

Outro problema recorrente que pode ser causado é o fluxo dessa água para Estações de Tratamento de Água (ETAs), o que contribui significativamente para o aumento da DBODQO (demanda química de oxigênio) e SST (sólidos suspensos totais) na água que será tratada, diminuindo significativamente a eficiência das estações, aumentando consideravelmente o consumo de energia e diminuindo o tempo de detenção relacionado aos ciclos de limpeza de separadores de óleos e gorduras (IPA, 2004).

Guerra e Fuchs (2010) relatam que o óleo vegetal, mesmo que saturado, é pouco volátil, como um ponto de fulgor em torno de 200°C, o que é relativamente alto para a utilização como combustível, ocorre devido as suas grandes cadeias de carbono em sua estrutura molecular. É nesse aspecto que entra o processo de queima sem agente oxidante, ou seja a pirólise, onde as cadeias de carbono longas do óleo saturado serão quebradas em cadeias menores, tornando o óleo de subproduto mais volátil e com um ponto de fulgor mais baixo, se tornando mais viável para utilização como combustível ou mistura para biodiesel.

2.4. REATOR DE CILINDRO

2.4.1. **Reator de Cilindro Rotativo**

Segundo Pedroza (2011), os reatores cilindro rotativo são equipamentos largamente utilizados por indústrias metalúrgicas e pela química de processamento, devido a versatilidade e capacidade de receber carga de partículas de diferentes distribuições de tamanho com mudanças de propriedades físicas durante o processo.

Esse tipo de reator proporciona um fácil controle, um maior tempo de residência do material e um produto final mais uniforme, além de proporcionar uma maior exposição da biomassa ao calor da superfície interna do reator e o fluxo de desses reagentes. O fenômeno de transferência de calor ocorre por trocas radiativas, convectivas, condutivas e por um coeficiente determinado em função do movimento das partículas sólidas do leito. A energia liberada pelo forno tubular fixo transfere-se para a superfície cilíndrica externa do reator por radiação e convecção, assim transferindo-se por condução através da parede para a superfície cilíndrica

interna do reator. Parte do calor se perde pelas extremidades para o ambiente. A energia da superfície interna da parede do reator se transfere para o leito, envolvendo simultaneamente trocas por condução, convecção, radiação e aquela devido à interação entre partículas em movimento (FONTES, 2011).

De acordo com Kunii e Chisaki (2008) o tipo de movimento gerado no interior do reator facilita a mistura e mantém uniforme a temperatura interna.

A dinâmica do reator de cilindro rotativo favorece a cinética de gaseificação e reações gás-sólido. Este tipo de reator apresenta algumas variáveis que podem fazer a diferença em relação a outros reatores convencionais utilizados, permitindo modificar a forma de transferência de massa e calor entre as fases, bem como facilitar a razão de contato gás-sólido, devido à movimentação das partículas de biomassa dentro do leito rotativo, obtendo-se assim, um residual. Variáveis importantes como a rotação e a inclinação do reator podem promover alterações significativas no tempo de residência dos vapores pirolíticos, favorecendo o processo (FONTES, 2011).

2.4.2. **Reator de Cilindro Leito Fixo**

O reator de cilindro de leito fixo não diferencia tanto do anteriormente citado, reator de leito rotativo. Os processos usados para alimentação do processo de aquecimento do interior do reator é o mesmo, através de um gerador periférico ao lado do reator, que será abordado nos procedimentos metodológicos.

Devido a não existência do movimento cíclico no leito do reator durante a pirólise, a biomassa possui apenas um movimento descendente através do tubo sem o processo de mistura promovido pelo reator de leito cilíndrico, que em biomassas pirolisadas que possuem um maior teor de materiais de diferentes granulometrias seria a escolha mais indicada devido ao movimento rotativo da biomassa durante o processo, promovendo uma melhor homogeneização da mistura. Entretanto, o objeto de estudo do presente trabalho é o realizar o pré-tratamento do óleo de cozinha usado, garantindo uma maior uniformidade do material e a remoção de impurezas, além disso, devido a sua viscosidade espera-se que a velocidade de escoamento do produto não seja relativamente alta, possibilitando uma boa exposição ao processo de oxidação promovida pelo reator.

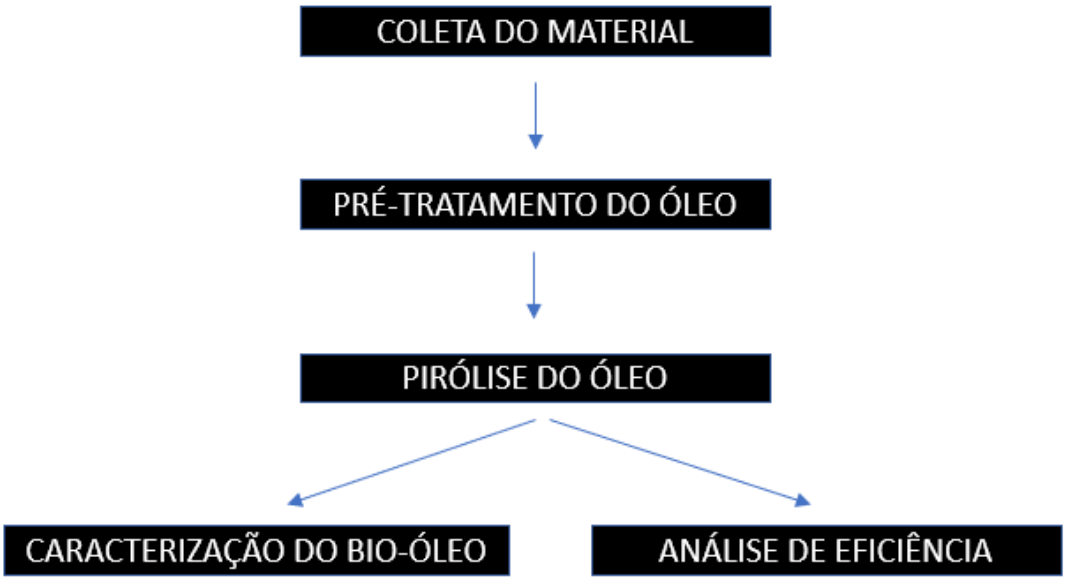
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A metodologia usada no presente trabalho é exploratória e qualitativa, onde os principais pontos abordados é a exploração de processos que foram realizados e verificação qualitativa de cada etapa. As etapas metodológicas foram baseadas em PEDROZA (2011).

A Figura 1 representa um esquema da metodologia empregada nesta pesquisa.

Figura 1 - Representação esquemática das atividades



Fonte: Autor, 2020.

3.2. LOCAL DE COLETA DO ÓLEO

A frente de coleta do óleo usado ocorreu majoritariamente na rede de *fast food* Burger King localizado na Avenida Teotônio Segurado em Palmas - TO, que gentilmente forneceu a quantidade mais do que necessária para a realização dos ensaios do presente trabalho. O óleo foi coletado em um recipiente de 5 litros de forma manual no local de descarte de óleo usado posteriormente na lanchonete.

Por se tratar de um grande produtor de óleo de fritura, espera-se que a partir dos resultados obtidos, a franquia possa se tornar um possível parceiro na produção do combustível sustentável.

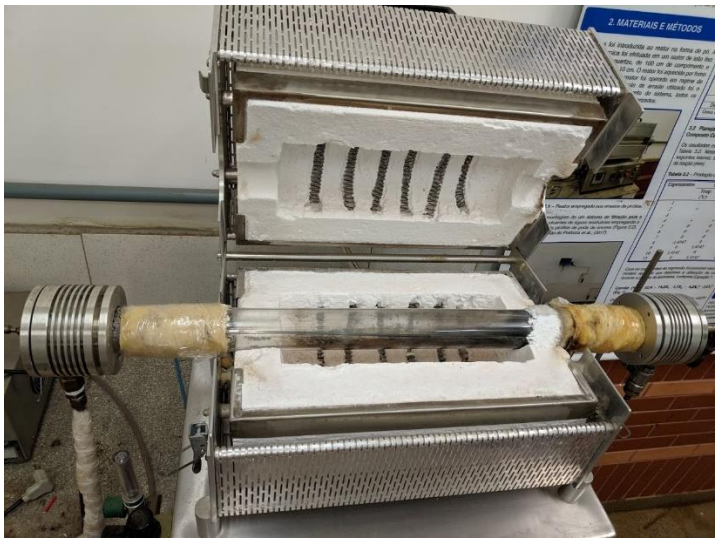
3.3. PIRÓLISE

3.3.1. **Reator de pirólise**

O óleo residual foi convertido termicamente em um reator de leito fixo (Figura 2), de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm. O reator foi aquecido por forno bipartido reclinável e foi operado em regime de batelada, sendo usado vapor de água aquecido como o gás de arraste de vapores e do subproduto.

Os ensaios foram realizados em planta pirolítica instalada no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO).

Figura 2 - Reator de Cilindro de Leito Fixo para Pirólise de Biomassa



Fonte: Autor, 2020.

3.3.2. **Variação de temperatura no processo**

A temperatura inicial dos ensaios da biomassa foi de 200°C e foi elevada gradativamente até os 350°C no intervalo de 20 minutos.

Na Figura 3 nota-se o momento em que o sistema atinge 249°C, nesse instante já era possível notar a separação dos sub produtos provenientes do processo. No recipiente de vidro mais inferior era onde produto de estudo se alocava juntamente com o vapor de água que se condensava após ser resfriada. Graxas e gases do processo foram descartados.

Figura 3 - Sistema de reator cilindro rotativo para pirólise



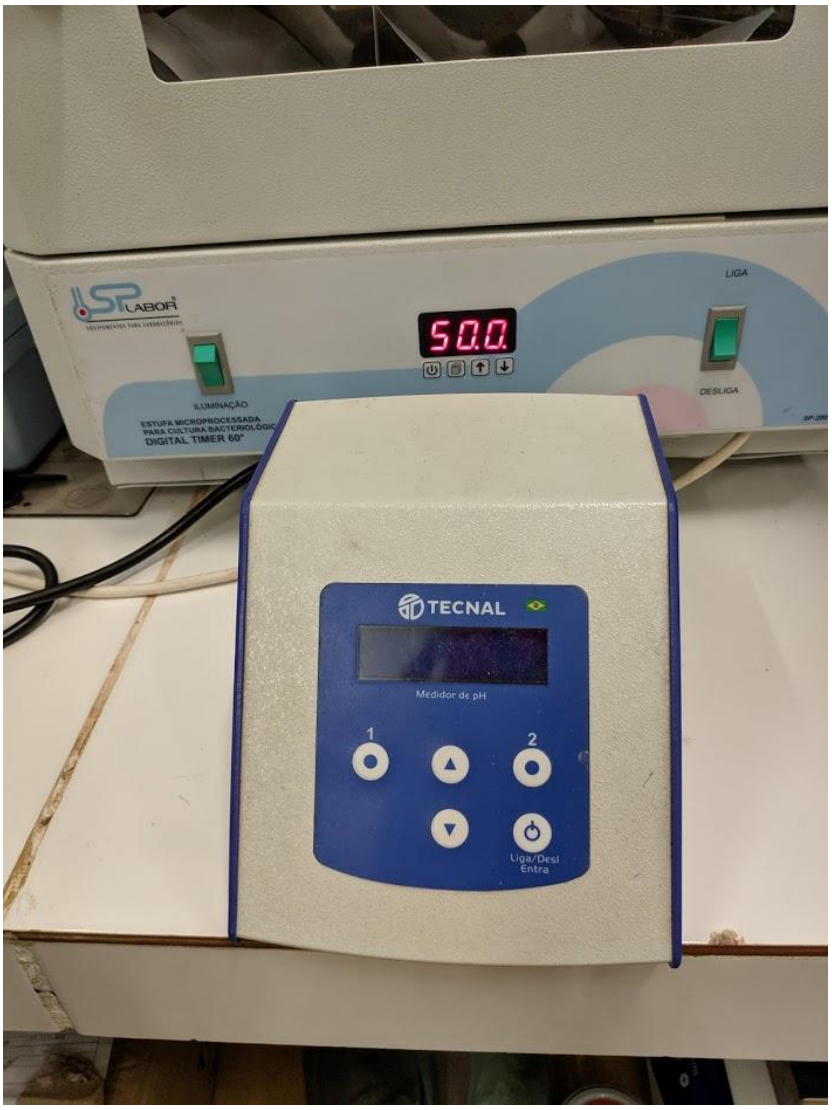
Fonte: Autor, 2020.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO

3.4.1. **Densidade e pH de amostras de bio-óleo**

A análise da densidade do bio-óleo foi realizada com o auxílio do picnômetro de vidro de 10 mL a uma temperatura de 20 °C. O pH do líquido pirolenhoso obtido foi determinado em pHmetro digital, da marca TECNAL, modelo 3MP, a uma temperatura de 20° C (Figura 4).

Figura 4 - Medidor de pH



Fonte: Autor, 2020.

3.4.2. **Análises Instrumentais para definição de compostos**

Para a identificação dos compostos constituintes do bio-óleo empregou-se um cromatógrafo modelo Varian CP 3800, acoplado a um detector de espectrometria de massas. Esses ensaios foram realizados no Laboratório da Central Analítica da USP, São Paulo. A Tabela 2 apresenta as condições empregadas no ensaio.

Tabela 2 - Condições cromatográficas empregadas na análise do bio-óleo

Coluna	VF5MS (5% fenil, 95%metilsilicone)
Dimensões da coluna	30 m x 0,25 m x 0,10 µm
Temperatura do injetor	250 °C
Temperatura da interface	250 °C
Volume de injeção	0,5 µL
Razão do Split	1:50
Fluxo de gás hélio	1 mL/min

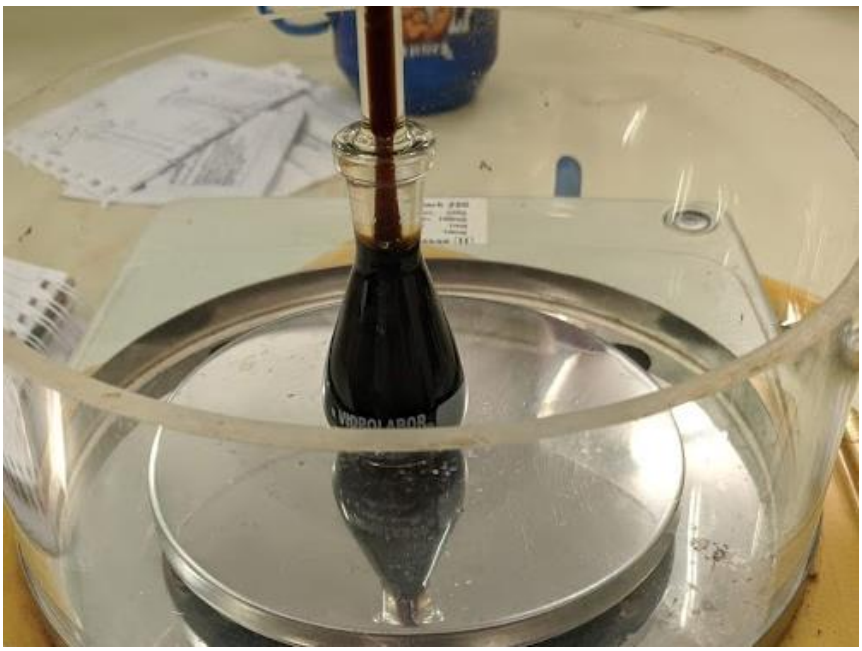
Fonte: Autor, 2021

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da metodologia empregada no presente trabalho, encontrou-se uma ótima taxa de eficiência para a realização da pirólise de óleo de fritura usado com o objetivo de obtenção de bio-óleo, apresentando uma solução economicamente viável e sustentável para o descarte de óleos usado e graxas. Deste modo, a obtenção dos dados dos ensaios abaixo descritos, são imprescindíveis para o conhecimento do processo bem como seus resultados encontrados a partir deles.

A Figura 5 apresenta o registro do principal produto estudado no presente trabalho, o bio-óleo. Percebe-se uma coloração bem mais escura do que a matéria prima, que é devido ao processo da pirólise pois a degradação do material, combinada ao arraste de gases, graxas e outros elementos contidos no material, o transformam em um produto muito diferente do inicial, alterando de forma significativa as características físico químicas do material e consequentemente alterando a forma como o material interage com o espetro da luz visível, absorvendo e emitindo cores diferentes do espectro da luz que inicialmente eram observadas no óleo bruto.

Figura 5 - Bio-óleo obtido após processo de pirólise



Fonte: Autor, 2020.

4.1. **EFICIENCIA DO PROCESSO**

A eficiência do processo foi medida basicamente utilizando a massa inicial do produto que foi usado para a realização da pirólise. O óleo bruto foi inicialmente pesado em balança de precisão como demonstrando na Figura 6 abaixo:

Figura 6 - Amostra de matéria prima em balança de precisão



Fonte: Autor, 2020.

O rendimento do bio-óleo obtido durante o processo de pirólise do óleo de fritura foi de 89,84%.

Com o intuito de comparação, os experimentos de Pedroza (2017) e Vieira (2011) apresentaram rendimento de 10,8% e 13,2% respectivamente, ambos em estudos de pirólise em Lodo de Esgoto.

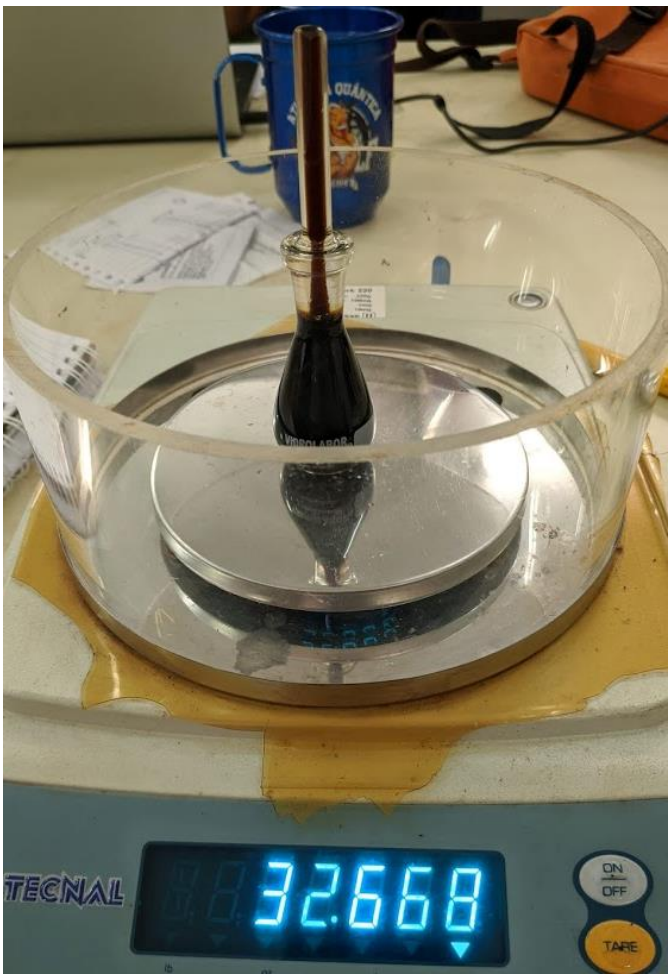
Já Pedrosa (2016), realizou pirólise em Capim Andropogon, obtendo uma eficiência de 20,08%. O que demonstra que o óleo residual de fritura se apresenta como uma matéria prima de excelente eficiência se comparado com outras biomassas.

4.2. **Densidade**

Para a determinação da massa específica foi usado uma balança de precisão e um picnômetro de 10 mL, como demonstrado na Figura 7. Observa-se que com o volume do recipiente de 10 mL e a massa do produto (óleo e picnômetro) que foi de 32,668 g, e a tara do picnômetro 22,144 g.

Por fim obteve-se uma densidade de 1,0524 g/cm³ ou 1,0524 g/mL. Se comparado com o óleo bruto, observa-se um aumento da densidade entre o produto que foi de 0,920 g/cm³, isso se deve a maior concentração das moléculas do subproduto, pois com a quebra das cadeias carbônicas no processo de oxidação, as moléculas ficam menores, consequentemente, se acomodam em um volume menor do que o inicial. A Figura 7 demonstra o momento da pesagem para a realização do ensaio de densidade.

Figura 7 - Produto final em balança de precisão



Fonte: Autor, 2020.

Para fins de comparação, de acordo com Silva et al (2017) o óleo Diesel S10 e S500 possuem densidade de 0,8350 g/mL e 0,8330 g/mL, respectivamente. Já em relação ao biodiesel é de aproximadamente 0,880 g/mL. Isso mostra que, o bio-óleo é relativamente mais denso do que o óleo diesel que são mais usados atualmente, demonstrando uma possível inviabilidade para uso do mesmo em motores veículos a combustão que usam óleo diesel.

Podemos também comparar a densidade com o bio-óleo proveniente de outras matérias primas:

Lodo residual: 1,0 – 1,1 g/mL (TEIXEIRA, 2016);

Lodo de esgoto doméstico: 1,05 – 1,09 g/mL (PEDROZA, 2011);

Lodo de esgoto: 1,0 – 1,1 g/mL (PEDROZA, 2017).

4.3. **pH**

O pH do bio óleo foi medido com o auxílio do medidor de pH Tecnal, como demonstrado na Figura 8. O pH foi medido por três vezes, com os resultados sendo demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de pH

Amostras de pH			**pH Médio**
3,16	3,07	3,09	**3,11**

Fonte: Autor, 2020.

Nota-se que a amostra possui a característica de um produto ácido, se comparamos ao óleo bruto que é de 4,5, houve uma leve diminuição no pH. De acordo com Oliveira et al (2014), o pH da gasolina em diversos locais coletados, também se mostrou ácido, não variando além de 6.

Figura 8 - Medidor de pH



Fonte: Autor, 2020.

Em estudos que utilizaram outras matérias primas para a produção do bio-óleo, o pH não variou mais dos valores entre 6 e 7.

4.4. **Compostos do bio-óleo**

A Tabela 3 apresenta os nomes dos compostos químicos presentes no bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura.

Tabela 4 – Tempo de retenção dos compostos presentes no bio-óleo durante a pirólise de óleo residual

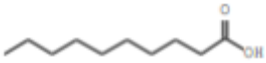
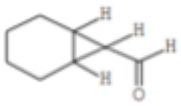
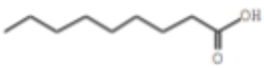
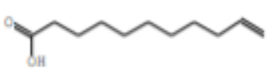
PICO	Tempo de retenção (min)	NOME
1	13,366	1-Undeceno
2	13,742	n-ácido decanóico
3	17,445	7-Formilbiciclo[4.1.0]heptano
4	17,850	Ácido nonanóico
5	22,050	Ácido nonanóico
6	26,447	n-ácido decanóico
7	29,652	17-Ácido octadecinóico
8	30,201	Ácido undecilenico
9	30,537	6-Tetradeceno, (E)-
10	30,770	1-Pentadeceno
11	31,093	Hexadecanoe
12	33,745	Àcido Undecanóico
13	34,672	1-Pentadeceno
14	37,813	8-Heptadeceno
15	38,045	8-Heptadeceno

16	38.666	Hexadecano
17	41,018	Ácido octadecanóico
18	47,863	n-ácido hexadecanóico
19	53,154	9-ácido Eicosenóico, (Z)-
20	53,772	Ácido octadecanóico

Fonte – Autor 2021

O Quadro 1 apresenta as estruturas químicas dos principais compostos obtidos no processo.

Quadro 1 - Estrutura química dos compostos presentes no bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo residual

FÓRMULA QUÍMICA ESTRUTURAL	NOME DO COMPOSTO
	1-Undeceno
	n-Ácido decanóico
	7-Formilbiciclo[4.1.0]heptano
	Ácido nonanóico
	Ácido undecilênico

O bio-óleo em estudo é constituído de hidrocarbonetos alifáticos e ácidos carboxílicos de pequenas e longas cadeias.

Vale aqui destacar que o processo de pirólise se caracteriza pela degradação térmica de compostos orgânicos de grandes cadeias carbônicas em estruturas mais simples de menor massa molecular. O óleo de soja usado nessa pesquisa foi submetido ao processo de pirólise com o objetivo de se produzir compostos com cadeias carbônicas mais simples visando o seu uso como combustível. O óleo de soja é uma excelente fonte de ácidos graxos essenciais apresentando, em sua composição, 50 % de ácido linoleico (18

carbonos) e 7 % de ácido linolênico (18 carbonos), além de 23,3 % de ácido oleico (18 carbonos) (FERRARI et al., 2005; SILVA et al., 2006; TSUTSUMI, 2005).

São destacados a seguir alguns compostos obtidos durante a pirólise do óleo de fritura e os seus usos e aplicações.

O ácido undecilênico (11 carbonos) é um composto orgânico com a fórmula CH2 = CH (CH2) 8CO2H. É um ácido graxo insaturado. É um óleo incolor. O ácido undecilênico é usado principalmente para a produção de Nylon-11 e no tratamento de infecções fúngicas da pele, mas também é um precursor na fabricação de muitos produtos farmacêuticos, produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes. Os sais e ésteres do ácido undecilênico são conhecidos como undecilenatos.

O ácido pelargônico (9 carbonos), também chamado de ácido nonanóico, é um composto orgânico com a fórmula estrutural CH3 (CH2) 7CO2H. O ácido nonanóico é um líquido oleoso incolor com um odor desagradável e rançoso. É quase insolúvel em água, mas muito solúvel em solventes orgânicos. Os ésteres e sais do ácido pelargônico são chamados pelargonatos ou nonanoatos. O ácido pelargônico ocorre naturalmente como ésteres no óleo de pelargônio. Junto com o ácido azelaico, é produzido industrialmente pela ozonólise do ácido oleico. Ésteres sintéticos de ácido pelargônico, como pelargonato de metila, são usados como aromatizantes. O ácido pelargônico também é usado na preparação de plastificantes e lacas. O derivado 4-nonanoilmorfolina é um ingrediente de alguns sprays de pimenta. O sal de amônio do ácido pelargônico, pelargonato de amônio, é um herbicida. É comumente usado em conjunto com o glifosato, um herbicida não seletivo, para um efeito de queima rápida no controle de ervas daninhas no gramado.

Percebe-se a presença de ácido octadecanóico (18 carbonos) na amostra de bio-óleo obtido durante a pesquisa, indicando que durante o processo parte dos ácidos graxos constituintes do material *in natura* deve sair do reator de pirólise antes mesmo da degradação térmica. A vazão de gás de arraste e a taxa de aquecimento do reator podem ter influenciado na saída desses compostos na forma de vapor antes mesmo do rompimento das cadeias carbônicas dos referidos compostos.

5. CONCLUSÃO

O processo de pirólise de óleo de fritura aplicado nessa pesquisa apresentou um alto rendimento de obtenção de bio-óleo (89,84 %), bem superior aos valores de rendimentos de outras biomassas, o que aponta para utilização do resíduo como precursor para a produção de biocombustíveis.

O bio-óleo apresentou um valor do pH igual a 3,1, sendo considerado ácido, característico desse tipo de material, sendo constituído de hidrocarbonetos alifáticos e ácidos carboxílicos de pequenas e longas cadeias, além da ausência de compostos sulfurados, o que aponta para a possibilidade de aplicação deste produto como biocombustível ou ainda usado como insumo na indústria química.

A presença de compostos com baixas quantidades de carbono na estrutura química (9 e 11 carbonos) do bio-óleo indicam a ocorrência da quebra térmica do principal constituinte do óleo de fritura (ácido linoleico de 18 carbonos). Essa redução de número de carbonos na estrutura dos compostos do bio-óleo favorece a sua aplicação como biocombustível

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, D. C. **Avaliação físico-química de bio-óleo e biocombustível como aditivo para combustíveis fósseis.** 2006. 110p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

ALBERS, C. N.; FELD, L.; JENSEN, L. E.; AAMAND, J.. Degradation of trace concentrations of the persistent groundwater pollutant 2,6-dichlorobenzamide (bam) in bioaugmented rapid sand filters. **Water Research**, v.83, p. 61–70, out. 2015.

ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalíca, da palha da cana-de-açúcar e o seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico.** 2008. 149p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ANI, F. N., ISLAN, M. N. Techno-economics of rice husk pyrolysis, canversion with catalytic treatment to produce liquid fuel. **Bioresource Technology,** 73, p.67-75, 2000.

BARNETO, A. G., CAROMNA, J. A., ALFONSO, J. E. M., BLANCO, J. D. Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,** 86, p.108-114, 2009.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 2017. Política Nacional de Biocombustíveis. **Renovabio**. Brasília.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Energy,** p.1 – 27, 2001.

CÂMARA, G. M. S. **Biodiesel Brasil -** estado atual da arte. 2006. 26 p. Disponível em: <http://

CAPONERO, Jefferson; TENÓRIO, Jorge Alberto Soares. **Reciclagem de pneus**. 2002.Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CARDOSO, LC. **Petróleo do Poço ao Posto.** Qualitymark Editora. Rio de Janeiro, p. 9, 2005.

CHANG, C. et al. Major products obtained from the pyrolysis of oil sludge. **Energy & Fuels,** 14, p.1176-1183, 2000.

CHEN, C. et al. Catalytic pyrolysis of biomass for hydrogen rich fuel gas production. **Energy Conversion and Mangement,** 44, p.2289-2296, 2003.

CHEN, C. et al. Study of sewage sludge pyrolysis mechanism and mathematical modeling. **J. Environ. Eng,** 127, p.585-593, 2001.

CHIANG, H. L. et al. Pollutant characteristics of the pyrolysis of the wastewater sludge by an electric furnace. **Wat. Sci. Tech,** 42, p.37-41, 2000.

CHIARAMONTI, D., OASMAA, A., SOLANTAUSTA, Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** 11, n. 6, p.1056-1086, 2007.

CONESA, J. A. et al. Comparison between emissions from the pyrolysis and combustion of different wastes. **J. Anal. Appl. Pyrolysis,** 84, P.95-102, 2009.

CZERNIK, S., BRIDGWATER, A. V. Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. **Energy and Fuel,** 18, p.590-598, 2004.

DIEBOLD, J. P. **A review of the chemical and physical mechanism of the storage stability of fast pyrolysis bio-oils.** National Renewable Energy Laboratory, 2000. 51p.

DOMINGUEZ, A. MENENDEZ, J. A., INGUANZO, M., PIS, J. J. Investigation into the characteristics of oils produced from microwave pyrolysis of sewage sludge. **Fuel Process Technol,** 86, p.1007-1020, 2005.

DOMÍNGUEZ, A., MENENDEZ, J. A., INGUANZO, M., PIS, J. J. **Investigation into the characteristics os oils produces from microwave pyrolysis of sewage sludge. Fuel Process Technol.** 86, p.1007-1020, 2005.

DOMINGUEZ, A., MENENDEZ, J. A., PIS, P. P. Hydrogen rich fuel gas production from the pyrolysis of wet sewage sludge at high temperature. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,** 77, p.127-132, 2006.

DOSHI, V. A., VUTHALURU, H. B., BASTOW, T. Investigations into the control of odour and viscosity of biomass oil derived from pyrolysis of sewage sludge. **Fuel Processing Technology,** 86, p.885 – 897, 2003.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 1988. 575p.

EUROPEAN COMMISSION. **HEAVY METALS IN WASTE.** DG ENV. E3, Project ENV. E3/ETU/2000/0058. 2008.

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pós de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo.** 2011. 100p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

FIGUEIRÊDO, Maria Cléa Brito de et al. **Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios À Eutrofização.** Fortaleza: Ufc, 2007. 11 p. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n4/a06v12n4.pdf> . Acesso em: 10 mar. 2020.

FONTES, F. A. O. **Protótipo de reator de cilindro rotativo para obtenção de Nbc: Cinética e desempenho da redução e carbonetação.** 2003. 178p. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

FONTES, Lúcio Ângelo de Oliveira. **Desenvolvimento de uma unidade pirolítica com reator de cilindro rotativo: Obtenção de Bio-óleo.** 2011. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

GOMES, Adriana Neves et al. **Biocombustíveis: influência no desenvolvimento e inserção internacional.** Influência no desenvolvimento e inserção internacional. 2016. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Direito, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do

Sul, 2016. Cap. 1. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/2693/2513>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GUERRA, Edson Perez; FUCHS, Werner**. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores**. Acadêmica Ciência Agrária Ambiental, Curitiba, v. 8, n. 1, p.103-112, jan. 2010.

IPA. INOVAÇÃO E PROJECTOS EM AMBIENTE. **Linhas de definição estratégica do sistema de gestão dos óleos alimentares usados**. Portugal, fev. 2004

KARAYILDIRIM, T., YANIK, J., YUKSEL, B. **Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges**. Energy Fuel, 85, p. 1498-1508, 2006.

KUNII, D., CHISAKI, TATSU. (2008). **Movement of Solids in Rotary Cylinder. In: Rotary Reactor Engineering.** Elsevier Science & Technology digital. 11-25p.

PEDROZA, Marcelo Mendes. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo.** 2011. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Engenhara Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PÉREZ-CAMINO, M. C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; RUIZ-MENDEZ, M. V.; DOBARGANES, M. C. **Lipids changes during frying of frozen prefried foods**. J. Food Sci., v. 56, n. 6, p. 1644-1650, 1991.

SANCHEZ, M. E., MENÉNDEZ, J. A., DOMÍNGUEZ, A., PIS, J. J., MARTÍNEZ, O., CALVO, L. F., BERNAD, O. L. **Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge.** Biomass and Bioenegergy, 33, p.933-940, 2009.

SHEN, L., ZHANG, D. **Low temperature pyrolysis of sewage sludge and putrescible garbage for fuel oil production. Energy & Fuel,** 84, p.809-815, 2004.

SOUTH AMERICA BIODIEASEL PROGRAM. New Mexico: The National Biodiesel Board, 1998. Disponível em: <https://digitalrepository.unm.edu/la_energy_dialog/19>. Acesso em: 10 mar. 2020.

VIEIRA, G. E. G. **Fontes alternativas de energia – Processo aperfeiçoado de conversão termica.** 2004, 181p. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2004.

www.cib.org.br/pdf/biodiesel_brasil.pdf> . Acesso em: 18/2/2011.