



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

CHRYSTIAN GOMES SILVA LENZA

**UTILIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRITURA PARA A PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO ATRAVÉS
DO PROCESSO DE PIRÓLISE CATALÍTICA**

PALMAS – TO

2021

CHRYSTIAN GOMES SILVA LENZA

**UTILIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRITURA PARA A PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO ATRAVÉS
DO PROCESSO DE PIRÓLISE CATALÍTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil da Unidade Palmas, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Marcelo M. Pedroza

PALMAS – TO

2021

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

L575u Lenza, Chrystian Gomes Silva
UTILIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRITURA PARA A PRODUÇÃO DE
BIO-ÓLEO ATRAVÉS DO PROCESSO DE PIRÓLISE CATALÍTICA /
Chrystian Gomes Silva Lenza. – Palmas, TO, 2021.
61 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 Mendes Pedroza

1. Óleo residual. 2. resíduos oleosos. 3. degradação com catálise de
resíduo. I. Mendes Pedroza, Marcelo. II. 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 automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

CHRYSTIAN GOMES SILVA LENZA

**UTILIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRITURA PARA A PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO
ATRAVÉS DO PROCESSO DE PIRÓLISE CATALÍTICA**

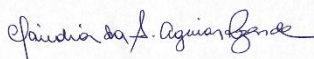
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil da Unidade Palmas, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 25/06 /2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador e Presidente da Banca Instituto Federal do Tocantins



Prof. Dra. Claudia da Silva Aguiar Rezende



Eng. Rui Felipe de Miranda Rios

Aos meus pais e avós, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela saúde e força de vontade de acordar todos os dias e correr atrás dos meus sonhos.

Ao Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, pela excelente estrutura, que alinhada ao corpo de docentes comprometidos, puderam me proporcionar um diferencial aprendizado.

Ao meu orientador, Dr. Marcelo Mendes, por toda paciência e apoio na elaboração deste trabalho. Vocês foram mais que fundamentais e especiais!

E por fim, aos meus pais, Edilmar e Heliana, por sempre procurarem me proporcionar o melhor e me apoiando sempre!

RESUMO

LENZA, Chrystian Gomes Silva. **Utilização do óleo de fritura para a produção de bio-óleo através do processo de pirólise catalítica.** 2021. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

Em várias regiões do mundo os resíduos produzidos pela população são destinados a aterros sanitários ou designados de forma errada, prejudicando a população e o meio ambiente, sendo que podem ser reutilizados para a geração de energia, combustível e carvão ativado, minimizando assim os efeitos negativos. O intuito desta pesquisa experimental é transformar o óleo de fritura, um dos resíduos que mais prejudica o meio ambiente quando descartado de forma errada, em um bio-óleo com maior valor agregado empregando o processo de pirólise catalítica. Desta forma, o óleo de fritura foi levado para o ensaio de pirólise, onde todos os ensaios foram realizados no laboratório do Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Campus Palmas. Primeiramente, foi feita a caracterização do material *in natura*, a qual realizou-se o ensaio de material volátil, cinzas e carbono-fixado. A biomassa foi misturada com o catalisador cloreto de potássio (KCl) na proporção 1:10. Os ensaios de pirólise foram realizados em duas temperaturas distintas (550 °C e 650 °C), ambos com a mesma taxa de aquecimento de 20°C/min. O reator utilizado para o ensaio foi o reator de leito fixo. Cada experimento teve uma duração de 60 min. O bio-óleo gerado foi caracterizado através das seguintes técnicas: pH, solubilidade, densidade e análise cromatográfica. A biomassa *in natura* apresentou as seguintes características: material volátil de 99,5% e cinzas 0,5%. Durante os ensaios de pirólise foram obtidos os seguintes resultados: rendimento de 77,3% para amostra de 550 °C e 80,2% para amostra de 650 °C. O bio-óleo obtido no processo apresentou as seguintes características: Teor de Material Volátil de 100% e ausência de Cinzas, valores de pH iguais a 4,54 e 4,44 para as amostras (550 °C e 650 °C) respectivamente, densidade da amostra de 550 °C foi de 1,057 g/mL e a de 650 °C foi de 1,123 g/mL. O biocombustível obtido apresentou em sua constituição hidrocarbonetos alifáticos de pequenas cadeias carbônicas e ácidos carboxílicos de pequenas e longas cadeias. Os resultados obtidos foram satisfatórios pois comprovam a eficiência do bio-óleo gerado pelo processo de pirólise do óleo de fritura misturado com o catalisador cloreto de potássio, podendo ser usado como aditivo para os combustíveis.

Palavras-chave: Óleo residual, resíduos oleosos, degradação com catálise de resíduo

ABSTRACT

In several regions of the world, the waste produced by the population is dumped in landfills or it is wrongly designated, what causes harm to the population and to the environment, instead they could be reused to generate energy, fuel, activated carbon and, thus, minimizing the negative effects. The purpose of this experimental research is to use frying oil, which is one of the wastes that most harms the environment when it is discarded in the wrong way, and then transform it into a bio-oil, adding greater value through the catalytic pyrolysis process. In such way, the frying oil was taken the pyrolysis test, where all tests were carried out in the laboratory of the Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Campus Palmas. First, the characterization of the material in natura was carried out; regarding it the tests for volatile material, ash and fixed carbon contents were performed. The biomass was mixed with potassium chloride (KCl) as a catalyst in a 1:10 ratio. The pyrolysis test was carried out at two different temperatures (650° and 550°); with the same heating rate of 20°C/min in both tests, and the reactor used in the experiment was the fixed bed one. Each experiment had a duration of 60 min. The bio-oil that went through the characterization by the following techniques: pH, solubility, density and the chromatogram analysis. The biomass in natura presented these characteristics; volatile mass of 99.5% and ash content of 0.5% and 0%, respectively. During the pyrolysis these were the results: the yield was equal to 77.3% for a sample at 550 °C and 80.2% for a sample at 650 °C. Regarding the bio-oil obtained in the process, it presented the volatile-matter equals 100% and absence of ash content. Concerning the pH results, they were 4.54 and 4.44 for the samples at 550 °C and 650 °C, respectively, and the density of the sample at 550 °C was 1.057 g/mL and of the one at 650 °C was 1.123 g/mL. The biofuel obtained presented aliphatic hydrocarbons with small carbon chains and carboxylic acids with short and long chains. The results obtained were satisfactory as they demonstrate the efficiency of the bio-oil generated by the pyrolysis of the frying oil mixed with potassium chloride as a catalyst, which can be used as an additive for fuels.

Key-words: Residual oil, oily waste, degradation with waste catalysis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Temperatura, rendimentos e condições dos processos de conversão, produtos e aplicações	23
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Caracterização da biomassa e comparativos de outros trabalhos.....	41
Quadro 02 – Caracterização do bio-óleo e comparativos com outros trabalhos.....	42
Quadro 03 - Valores do pH do bio-óleo e da amostra <i>in natura</i>	44
Quadro 04 – Teste de solubilidade	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Estruturas da celulose	18
Figura 02 - Estruturas da hemicelulose.....	19
Figura 03 – Estruturas da lignina.....	19
Figura 04 – Processos de conversão, produtos e aplicações	20
Figura 05 – Aplicações do bio-óleo	24
Figura 06 – Diagramas de blocos do processo de pirólise rápida catalítica: (A) in situ, (B) ex situ.....	28
Figura 07 – Esquema do reator de leito fluidizado	31
Figura 08 – Desenho esquemático das atividades desenvolvidas	32
Figura 09 – Óleo de fritura residual a ser empregado nesta pesquisa	33
Figura 10 – Mufla (Fornos Magnu's).	34
Figura 11 – Reator empregado no ensaio da Pirólise.....	36
Figura 12 – Autoclave utilizada no ensaio da Pirólise.	37
Figura 13 – Óleo de fritura e o catalisador cloreto de potássio	37
Figura 14 – Desenho esquemático das etapas da pirólise	38
Figura 15 – pHmetro.	38
Figura 16 – Solventes utilizados no Teste de Solubilidade	39
Figura 17 – Bio-óleo obtido pelo processo de pirólise.....	40
Figura 18 – Teste de Solubilidade.....	45
Figura 19 – Cromatograma do bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura usando o catalisador KCl.	46
Figura 20 - Identificação de alguns compostos presentes no bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura usando o catalisador KCl.	48

LISTA DE SIGLAS

APHA	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FMA	Fundação Municipal de Meio Ambiente
FRZ	Forshungszentrum Karlsruhe
G	Gramas
HDO	Hidrodessoxigenação
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
L	Litro
mg	Miligrama
MJ/M ³ .	Megajoule/metro cubico
mL	Mililitro
mL	Mililitro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Pólítica Nacional de Resíduos Sólidos
RTI	Resource Transformations Internacional
H/C	Hidrocarbonetos/catalisadores

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 Biomassa.....	18
3.2 Processos de conversão de biomassa	20
3.2.1 Gaseificação.....	20
3.2.2 Combustão	21
3.2.3 Liquefação	21
3.2.4 Pirólise	21
3.3 Tipos de pirólise.....	23
3.4 Bio-óleo	24
3.5 Melhoramento do Bio-Óleo.....	25
3.5.1 Craqueamento sobre zeólitas	25
3.5.2 Hidrodesoxigenação	26
3.5.3 Pirólise Catalítica	27
3.5.4 Pirólise do Óleo de Fritura	29
3.6 Tipos de reatores de pirólise.....	29
3.6.1 Reator de leito fluidizado	30
3.6.2 Reator de leito fixo.....	31
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
4.1 Coleta do resíduo	32
4.2 Caracterização do óleo residual.....	33
4.3 Teor de Material Volátil.....	34
4.4 Teor de Cinzas	35
4.5 Teor de Carbono Fixo	36
4.6 Ensaio de pirólise de óleo residual.....	36
4.7 Análise do Bio-óleo	37
4.7.1 Umidade, Material Volátil, Cinzas e Carbono Fixo	37
4.7.2 pH.....	38
4.7.3 Teste de solubilidade	38
4.7.4 Análise cromatográfica do bio-óleo	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 Caracterização química do material natural	41

5.2 Eficiência do processo	42
5.3 Caracterização química do bio-óleo.....	43
5.4 pH.....	43
5.5 Teste de solubilidade.....	44
5.6 Teor de densidade	46
5.7 Análise cromatográfica.....	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
7 REFERENCIAL.....	50

1 INTRODUÇÃO

O mundo todo está em alerta devido aos problemas climáticos que vêm ocorrendo ao longo das últimas décadas, e uma das principais suspeitas desta mudança climática é a emissão do CO₂ como causador do aquecimento global e do efeito estufa. Uma das principais causas dessa emissão é a queima de combustíveis fósseis, matéria-prima com o maior consumo mundial para produção de energia. Com isto se torna uma matéria prima que é usada como ferramenta ligado a políticas econômicas de países ou organizações, deixando muitos países à mercê da necessidade do petróleo e dos seus derivados, essa dependência fundamenta a procura pelo desenvolvimento e produção sustentável de novas fontes de combustíveis (FREITAS,2016).

O Brasil, por conta da crise do petróleo, aliada com a alta demanda por combustíveis e a preocupação com o meio ambiente, demanda aumento da busca por fontes alternativas de energia. A biomassa e os resíduos sólidos ganham destaques, principalmente em relação a destinação final destes resíduos gerados pela população, pois destes, uma parte é jogada na rede pública indevidamente, despejados a céu aberto ou queimados, prejudicando o meio ambiente (ARBEX *et al.*, 2004).

No Brasil o resíduo sólido urbano é coletado por empresas contratadas para a destinação de resíduos produzidos em residências, lojas, hospitais, órgãos públicos etc. E as áreas de descarte são conhecidas como aterros sanitário, que são grandes áreas abertas, aonde é destinado a decomposição final dos resíduos gerado pela população. O problema desses aterros sanitários é que muitas das vezes trabalham de forma irregular sem respeitar o meio ambiente e com isso eles podem causar graves problemas ambientais para o solo, lençol freático, além de contaminação do ar e problemas de saúde para a população (CARDOSO,2012).

A biomassa pode ser caracterizada como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica, sendo essa matéria de origem agrícola (arroz, milho, soja, cana-de-açúcar e capim-elefante), florestal (lenha, madeira, licor negro e carvão vegetal) e de rejeitos urbanos e industriais (sólidos e líquidos). Os derivados gerados dependerão do processamento utilizado para obtenção tanto dos energéticos quanto da matéria-prima utilizada, podendo variar o potencial energético de acordo com o tipo utilizado (ANEEL, 2015).

A biomassa tem ganhado espaço no mercado de energia por ser uma fonte energética limpa e renovável, sendo uma boa alternativa para matriz energética e consequentemente

para a redução da dependência dos combustíveis fósseis (FREITAS,2016).

A biomassa traz diversas vantagens relacionadas ao baixo custo da sua aquisição, à não emissão do dióxido de enxofre, que é um poluente ao meio ambiente, às cinzas geradas serem menos agressivas ao meio ambiente em relação aos combustíveis fósseis, às emissões não contribuírem para o efeito estufa e à causarem menor deterioração dos equipamentos que produzem a energia (FREITAS,2016).

Uma das tecnologia que vem ganhando destaque para produção de bio-óleo é o estudo da pirólise. A pirólise é um processo de conversão térmica de óleo e gorduras na presença controlada de oxigênio gerando produtos compostos na fase gasosa, líquida e sólida, porém o produto desse processo apresenta um alto teor de oxigênio, elevada acidez e instabilidade química (MENDES, 2011).

Algumas pesquisas estão tentando melhorar a qualidade do bio-óleo, e uma das alternativas encontradas é a utilização de catalisadores que diminuem o teor de oxigênio, sendo este processo chamado de pirólise catalítica (MENDES, 2011).

O óleo de fritura é considerado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como resíduo não perigoso, mas altamente poluente. A PNRS determina que os fabricantes façam um sistema de gerenciamento dos seus resíduos destinando corretamente o óleo usado. Óleos são gerados em residências e restaurantes e estima-se que apenas 2% é usado para reuso. Caso aumentassem os programas de coletas de óleos junto com implementação de políticas de incentivos e fiscalizações mais rigorosas o percentual aumentaria e com isso a matéria-prima tornaria-se cada vez mais viável (FILHO, 2014).

Apesar do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), pela Resolução 362/5, declarar que é proibido qualquer descarte de óleo usado ou contaminado em solos, subsolos, nas águas interiores, no mar e nos sistemas de esgoto e evacuação de águas residuais, muitas cidades não promovem informações ou disponibilizam pontos de coleta. Quando não realizada a coleta por empresas e prefeitura, é comum o óleo de fritura ser despejado em locais impróprios: em vasos sanitários, pia ou em aterros direto no solo. Com esse material sendo descartado irregularmente, há maiores riscos de entupimentos da própria rede e da tubulação das ruas, poluição dos rios, córregos e lençóis freáticos, além do aumento de gastos para o tratamento de água nas estações de tratamento de água e esgoto.

Diante dos problemas causados pelo descarte irregular do óleo de fritura, este trabalho visa efetuar a pirólise com a presença do catalisador cloreto de potássio de forma a obter bio-óleo de melhor qualidade visando a sua utilização como biocombustível.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo utilizar o óleo de fritura para a produção de bio-óleo através do processo de pirólise catalítica, visando a sua utilização como biocombustível.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar óleo de fritura a ser empregado nesta pesquisa;
- Efetuar a pirólise do óleo de fritura na presença de catalisador para obtenção de bio-óleo;
- Caracterizar o bio-óleo resultante do processo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biomassa

A biomassa é definida por alguns autores como todo material derivado da vida vegetal e que possa ser renovável por um período inferior a 100 anos, com isso o petróleo, xistos betuminosos e carvão mineral não são considerados renováveis (PROBSTEIN e HICKS, 1982; KLASS, 1998).

Outros autores consideram a biomassa como sendo qualquer recurso renovável que gera matéria orgânica, podendo ser vegetal ou animal (MENDES, 2011). Já outros vem utilizando o termo biomassa industrial que é toda matéria orgânica renovável, podendo ser plantas, resíduos urbanos, madeira, resíduos de madeira, dejetos de animais, resíduos agrícolas e quaisquer outros resíduos que possam servir na produção de energia, combustíveis, químicos e matérias (KAAM *et al*, 2006).

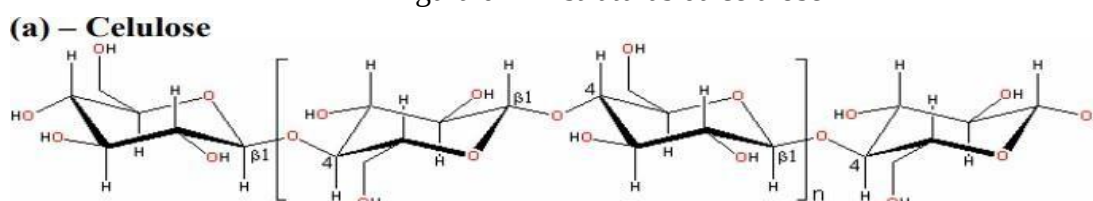
Na composição da biomassa encontramos com maior frequência seis compostos, sendo eles: carboidratos, proteínas, celulose, hemicelulose e lipídios (CHERUBINI; STROMMAN, 2011). No caso das plantas, a biomassa é uma reação entre o CO₂, água e luz utilizando o processo de fotossíntese, o qual converte o dióxido de carbono em carboidratos e oxigênio, que formam os blocos de construção da biomassa (HUBER *et al*, 2006).

Os produtos da reação de fotossíntese são os polímeros. A energia dessas moléculas, uma vez quebradas são extraídas na forma de combustível, matérias, entre outros, e esses quando queimados liberam CO₂ e água, e isso torna-se um processo cíclico, no qual o CO₂ liberado é utilizado para a criação de uma nova biomassa (MCKENDRY, 2002a).

A lignocelulósica é a biomassa com maior abundância e é constituída de lignina, hemicelulose, celulose e minerais. Essa fração pode variar a depender do tipo de biomassa (MOHAN; PITTMAN; STEELE, 2006).

A celulose é o principal elemento da lignocelulósica podendo ter uma variação de 40 a 80%. É um polímero cristalino linear de alto peso molecular (10⁶ ou mais) de monômeros β -1,4- D-glucopiranoose (ARANTES e SADDLER, 2010). Este polímero apresenta a celobiose que é o dissacarídeo repetitivo da celulose. O grau de polimerização é de aproximadamente mais de 10.000 na madeira e 15.000 no algodão (HUBER *et al.*, 2006). A Figura 01 apresenta a unidade estrutural da celulose.

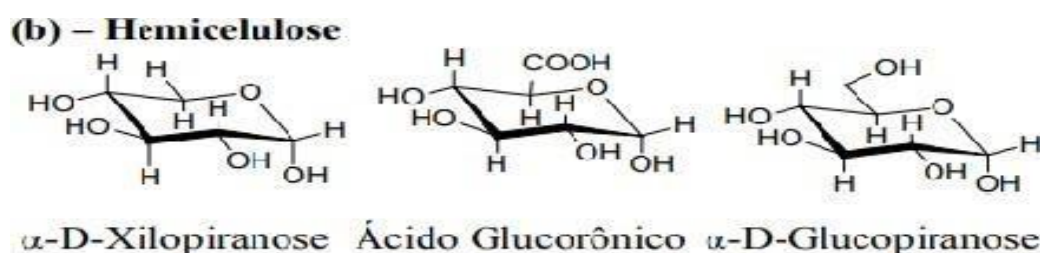
Figura 01 – Estruturas da celulose



Fonte: (adaptado de MOHAN *et al.*, 2006).

A hemicelulose são materiais amorfos compostos de polissacarídeos heterogêneo e apresenta um grau de polarização menor que o da celulose, além do mais, as hemiceluloses são constituídas de combinações aleatórias de monossacarídeos incluindo a pentose (β -D-xilose, β -L-arabinose), hexoses (β -D-glicose, β -D-manose, β -D-galactose) e ácidos urônicos (MORAES *et al.*, 2010). A Figura 02 mostra o estrutural da hemicelulose.

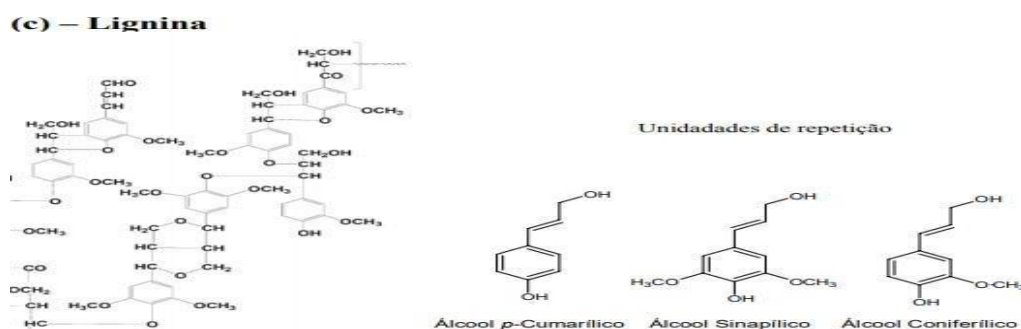
Figura 02 – Estruturas da hemicelulose



Fonte: (adaptado de MOHAN *et al.*, 2006).

As ligninas apresentam uma estrutura tridimensional e são consideradas substâncias incrustantes altamente ramificadas, com uma diversidade de fenil-propano substituídas com hidroxilas ou radicais metoxi. Uma das funções da lignina é o transporte interno de água, nutrientes e metabolismo. A lignina ajuda a resistir ao ataque de micróbios e microorganismos e impede a penetração de enzimas. A Figura 03 apresenta a estrutura da lignina.

Figura 03 – Estrutura da lignina

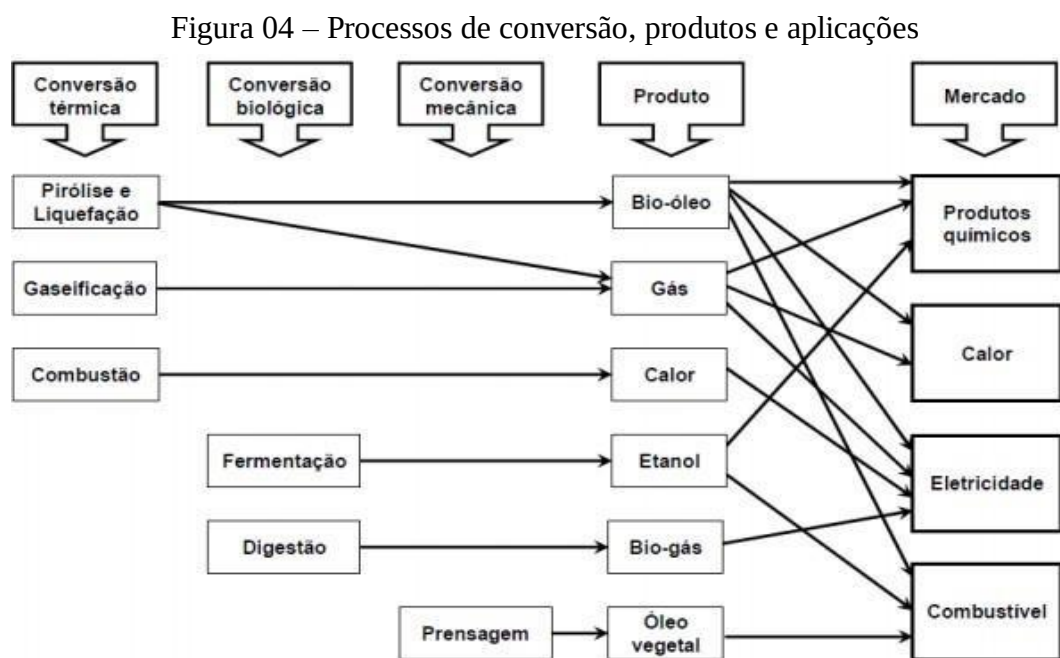


Fonte: (adaptado de MOHAN *et al.*, 2006).

A biomassa apresenta compostos inorgânicos que surgem na forma de cinza após a pirólise. O teor vai variar dependendo da idade da planta, espécie vegetal e dos seus tecidos (BASU, 2010). Os extrativos orgânicos são extraídos com solventes polares, como álcoois e água, e por apolares, como hexano e tolueno. Alguns exemplos de extrativos são açúcares simples, resinas, triglicerídeos, alcalóides, aminos, óleos essenciais, glicosídeos e pectinas (MOHAN *et al.*, 2006).

3.2 Processos de conversão de biomassa

Os processos de conversão da biomassa são bioquímicos, mecânicos e termoquímicos entre esses o que ganha maior destaque é o termoquímico, com maior eficiência em tempo de reação. O processo termoquímico consegue quebrar moléculas de lignina, diferente do processo bioquímico que não consegue, pois, a lignina é considerada não fermentável. O produto dos processos de conversão tem o intuito de gerar energia, convertendo a biomassa em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Exemplos de processo termoquímicos é combustão, pirólise, liquefação e gaseificação. Já os processos bioquímicos têm a liquefação e digestão anaeróbica, enquanto os processos mecânicos não alteram o estado físico da biomassa, exemplos é a moagem ou picagem de palha, compactação de resíduos na forma de peletes e extração mecânica do óleo em filtro de prensa (BRIDGWATER, 2006 apud ALMEIDA 2008). Na Figura 04 apresenta os processos de conversão, produto e aplicações.



Fonte: (Adaptado de BRIDGWATER, 2006).

3.2.1 Gaseificação

De acordo com Huber *et al.*, (2006) a gaseificação é um processo que converte biomassa rica em carbono em um gás que contém monóxido de carbono, hidrogênio, metano, nitrogênio e dióxido de carbono por meio da oxidação parcial à elevada temperatura.

As etapas da gaseificação são: secagem para evaporação de umidade, pirólise com obtenção de gases, bio-óleo e carvão, oxidação parcial do carvão, gases e bio-óleo produzidos na pirólise.

Quando o ar é utilizado no processo, o gás apresenta um baixo poder calorífico por causa da diluição com o nitrogênio. A utilização de oxigênio puro ou vapor produz um gás com médio poder calorífico (10-12 MJ/m³ e 15-20 MJ/m³, respectivamente) (ALMEIDA, 2008). Quando o ar é aplicado no processo, a gaseificação é considerada como combustão parcial, pois é similar à combustão. O foco da gaseificação é a produção de gás com maior valor energético para serem utilizados em combustores ou armazenados para outros fins, e a combustão tem o intuito em produzir calor (ZHANG; XU; CHAMPAGNE, 2010).

De acordo com Bridgwater (2003) é interessante a gaseificação integrar outros processos por conta da viabilidade econômica, pois os custos da gaseificação ainda são elevados, é um processo que apresenta sucesso nas escalas protótipo e industrial.

3.2.2 Combustão

Combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor sendo empregada para o aquecimento de ambientes, gerar vapor em caldeiras e movimentar turbinas geradoras de eletricidade. Este processo ocorre em temperaturas bem elevadas, em torno de 800°C e 1000 °C, e com a presença de oxigênio (BRIDGWATER, 2003). É uma técnica que apresenta baixa eficiência para geração de energia elétrica com alguns inconvenientes, como a queima da biomassa que gera CO₂ e o manuseio de cinzas, que ainda são problemas técnicos a serem melhorados.

A tecnologia utilizando combustão é muito difundida no mercado com muitos casos de êxito na América do Norte e Europa, onde muitos utilizam resíduos que vêm de florestas, resíduos agrícolas e industriais (BRIDGWATER, 2003). No Brasil é difundida a queima do carvão vegetal, empregado em usinas siderúrgicas como termo-redutor, e o

bagaço da cana-de-açúcar queimado nas caldeiras das usinas (BAJAY *et al.*, 2005).

3.2.3 Liquefação

A liquefação é um processo que transforma a biomassa em produtos líquidos, que ocorre a baixa temperatura (250-450 °C) e alta pressão (5-20 MPa) na presença de um catalisador. No processo a carga é uma suspensão da biomassa em um solvente e a reação é conduzida sob uma atmosfera redutora de hidrogênio e/ou monóxido de carbono na presença de um catalisador (HUBER; IBORRA; CORMA, 2006). O produto obtido através da liquefação é o bio-óleo com menor teor de oxigênio e com maior viscosidade, diferente do mesmo produzido pelo processo de pirólise.

3.2.4 Pirólise

A pirólise é um processo termoquímico que ocorre em altas temperaturas e com ausência de oxigênio. Este processo é a primeira etapa dos processos de gaseificação e combustão e os produtos obtidos no processo são o bio-óleo (líquido), biochar (carvão vegetal) e os gases.

O bio-óleo consiste em duas fases, uma delas contém compostos orgânicos insolúveis de elevado peso e a outra fase contém grande variedade de compostos organo-oxigenados de baixo peso molecular (DEMIBAS, 2001; MCKENDRY, 2002).

O biochar (carvão vegetal) é o sólido de coloração escura que apresenta uma maior densidade energética por m³ em relação ao combustível original. É utilizado em vários processos industriais como purificar óleos, clarificação de glucose, açúcar, gelatina, medicamentos farmacêuticos, tratamento do ar, ajuda na purificação de água para fins potáveis ou industriais, aplicado em efluentes líquidos industriais e em diversas áreas. Trazendo diversos benefícios devido às suas propriedades adsorventes que vêm sendo aprimoradas com o intuito de melhorar a porosidade do carvão (BRIDGEWATER, 2003).

O produto gasoso é formado por hidrocarbonetos leves, metano e quantidades menores de hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono (BRIDGEWATER, 2003). O monóxido de carbono é o de maior importância, pois nas reações secundárias ele serve de indicador da extensão das reações de decomposição que ocorrem durante o processo (MORF, 2002). Os gases obtidos são utilizados no processo de secagem da biomassa e na produção de energia para abastecer o sistema, autossustentável (BRIDGEWATER, 2003).

Estes produtos vão depender da taxa de aquecimento, temperatura final e tempo de resistência dos vapores gerados no reator (OVEREND, 2004). A pirólise lenta ocorre em torno de 350 °C e, com um longo tempo de residência, favorece na produção de biochar. Já a pirólise rápida a temperaturas moderadas em torno de 500 °C e baixo tempos de residência ajudam na produção do bio-óleo, e quando as temperaturas atingem em torno de 800 °C e longos tempos de residência o produto obtido são os gases. A Tabela 01 mostra a temperatura, o rendimento e as condições do processo (BRIDGEWATER, 2003; OVEREND, 2004).

3.3 Tipos de pirólise

A pirólise pode ser classificada pelo tempo de processo, podendo ser carbonização que é muito lenta, convencional, rápida e muito rápida (DEMIRBAS, 2007). Além do tempo, outros fatores influenciam no tipo de pirólise, como a taxa de aquecimento e o tempo de residência. A Tabela 01 mostra as classificações de pirólise junto aos dados de temperatura, rendimento e condições dos processos de conversão.

Tabela 01–Temperatura, rendimentos e condições dos processos de conversão

Processo	Tempo de residência	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento	Produto principal
Pirólise lenta (carbonização)	horas/dias	300 - 500	Muito baixa	Carvão vegetal
Pirólise convencional	5 - 30 minutos	400 - 600	Baixa	Bio-óleo, carvão e gás
Pirólise rápida	0,5 – 5 segundos	400 - 650	Alta	Bio-óleo
Pirólise flash				Bio-óleo
- Líquidos	< 1 segundo	400 – 650	Alta	
- Gases	< 1 segundo	> 650	Alta	Produtos químicos e gás combustível
Ultra-rápida	< 0,5 segundos	1000	Muito alta	Produtos químicos e gás combustível

Fonte:Demirbas (2009).

A pirólise lenta (carbonização) desagrega termicamente elementos de elevado peso molecular em fragmentos menores, isso geralmente ocorre em torno de uma temperatura de 350 °C e com um longo tempo de residência, o que favorece na produção de biochar. Esse processo envolve a desidratação e a descarboxilação a baixas temperaturas (FUNAZUKURI *et al.*, 1986; HAJALIGOLET *et al.*, 2001; PHAN *et al.*, 2008). O produto da pirólise lenta é o biocarvão e estudos vêm visando melhor rendimento deste produto,consequentemente afetando os demais que dependem dele, com os líquidos e

sólidos, melhorando o poder energético.

A pirólise rápida é uma rota bastante atrativa para a produção de líquidos, pois o produto obtido pode ser convertido a produtos químicos e então transportados, estocados e manuseados facilmente e com um menor custo em relação a biomassa sólida de menor densidade (ALMEIDA,2008). A temperatura nesse processo fica em torno de 500 °C e apresenta baixos tempos de residência, o que ajuda na produção do bio-óleo. Quando as temperaturas ficam em torno de 800 °C, e apresentam longos tempos de residência, o produto obtido são os gases, como mostra na (Tabela 01). Em geral, as características da pirólise rápida são altas taxas de aquecimento e de transferência de calor, baixo tempo de residência dos vapores, tipicamente menor que dois segundos, temperatura de reação controlada acima de 500 °C e resfriamento rápido dos vapores.

3.4 Bio-óleo

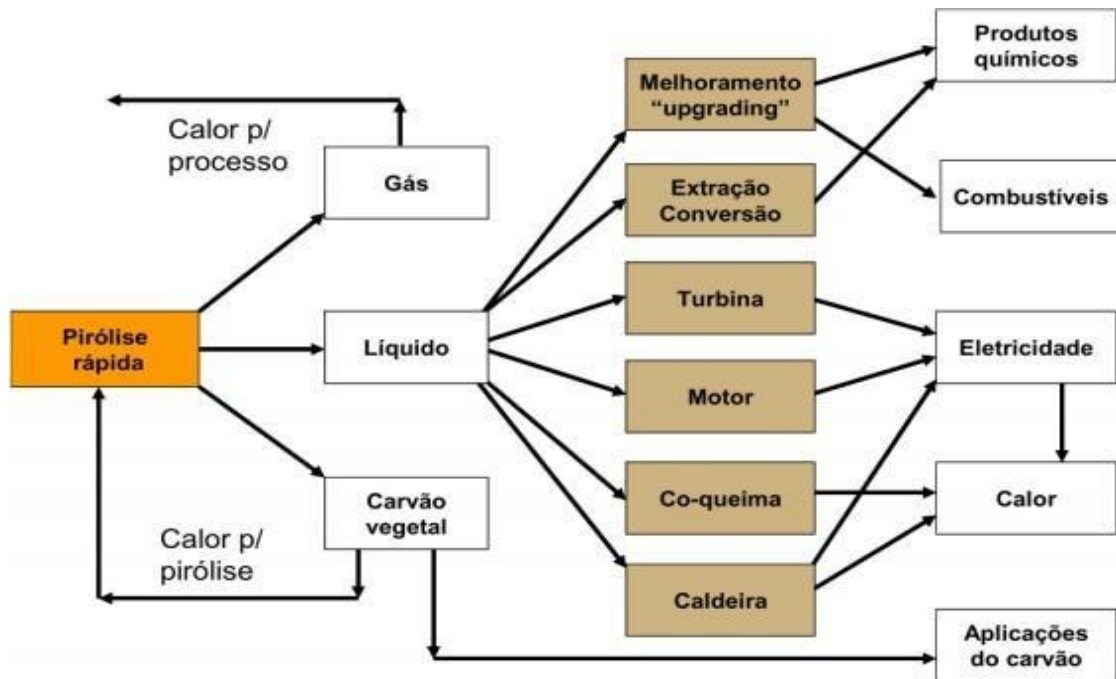
O bio-óleo é um produto gerado pela pirólise e apresenta uma cor marrom escura e cheiro de fumaça com uma composição elementar próxima a da biomassa. A composição vai depender da biomassa utilizada no processo, os equipamentos utilizados, as condições de processo e da eficiência na separação do carvão e na condensação. O bio-óleo apresenta alguns compostos do tipo ácidos, açúcares, cetonas, ésteres, furanos, fenóis, álcoois, aldeídos, oxigenados mistos, seringóis, guaiacóis e mais de 200 compostos oxigenados. Esses compostos são gerados da despolimerização e de fragmentação dos compostos, como a celulose, lignina e hemicelulose (HUBER *et al.*,2006).

O bio-óleo pode sofrer processos de polimerização e condensação, pois é solúvel em solventes polares e imiscível em hidrocarbonetos, tornando-se assim instável. As reações dos processos podem ser favorecidas com a presença de ar, luz e com o aumento de temperatura. O resultado é o aumento da viscosidade e na separação de fases (BRIDGWATER,2003).

Muitas pesquisas são voltadas ao uso do bio-óleo como combustível, porém a baixa volatilidade, a elevada viscosidade, a difícil ignição e a formação de corrosividade e coque trazem problemas para a utilização deste como combustível, por isso deve ser melhorado para ser substituto dos combustíveis fósseis. O uso dele é bastante difundido e utilizado em caldeiras, motores a diesel e turbinas além destas utilizações pode ser utilizado para a geração de eletricidade e alguns produtos químicos são derivados ou extraído do bio-óleo como: fertilizantes, flavorizantes, resinas, agroquímicos e hidroxí-acetaldeído

(BRAMMER *et al.*, 2006; CHIARAMONTI *et al.*, 2007). A Figura 05 mostra as aplicações do bio-óleo.

Figura 05 –Aplicações do bio-óleo



Fonte: (Adaptado de BRIDGWATER, 2006 apud ALMEIDA, 2008).

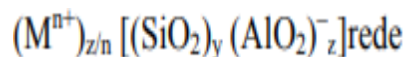
3.5 Melhoramento do Bio-Óleo

Cada vez mais surgem pesquisas voltadas ao melhoramento do Bio-Óleo, utilizando processos com o intuito de melhorar algumas características indesejáveis que dificultam a utilização do biochar para a substituição da gasolina ou diesel. Estas características indesejáveis são: a baixa volatilidade, elevada viscosidade, alta corrosividade, instabilidade térmica e incompatibilidade com os combustíveis fósseis. Os processos de melhoramento são conhecidos como craqueamento com zeólitas, hidrodesoxigenação e mistura com diesel para o coprocessamento e reforma como vapor para produzir hidrogênio ou gás de síntese (HUBER *et al.*, 2006).

3.5.1 Craqueamento sobre zeólitas

O termo zeólita deriva do grego, ‘zeó’ (que ferve) e o termo ‘lithos’ (pedra), este termo era utilizado para designar uma família de minerais naturais que possuem propriedades com a capacidade para trocas iônicas e a dessorção reversível de água. Atualmente engloba um vasto número de minerais naturais e sintéticos com características

estruturas comuns. A estrutura das zeólitas é uma rede tridimensional de tetraedros de AlO_4 e SiO_4 ligadas por átomos de oxigênio, sua fórmula estrutural é:



onde M é um cátion de valência n e $y+z$ é o número total de tetraedros de alumínio e silício na rede cristalina. A presença de cavidades, canais e aberturas de poros bem definidas lhe conferem a seletividade de forma. Encontram-se diferentes esqueletos de zeólitas que são bastante utilizadas para o craqueamento do petróleo, no craqueamento catalítico (GIANNETTO, 1990).

Os catalisadores zeolíticos reduzem o teor de oxigênio e incrementa sua estabilidade térmica, para isso acontecer a temperatura do processo estabiliza na faixa de 350 °C a 500 °C, na qual várias reações ocorrem nos sítios ácidos das zeólitas. Essas reações são de craqueamento, desidratação, polimerização, aromatização, alquilação, condensação, descarbonização e descarboxilação (HUBER *et al.*, 2006).

Katikaneni *et al.*, (1995) estudaram o craqueamento de bio-óleo proveniente da pirólise rápida sobre as zeólitas H-ZSM-5, H-Y e H-mordenita, silicalita e sílica-alumina os resultados obtidos foram que o rendimento do produto líquido foi menor do que o de liquefação, entretanto, os hidrocarbonetos foram maiores e sem formações de resíduos. Os catalisadores silicalita e a silicalita apresentaram menores valores de conversão em relação ao H-ZSM-5, H-Y e H-mordenita. A silicalita, a H-Y e a sílica-alumina foram mais seletivas a hidrocarbonetos alifáticos. E a H-ZSM-5 e H-mordenita aos aromáticos.

Vitolo *et al.*, (1999) em sua pesquisa utilizaram dois tipos de catalisadores HZSM-5, com diferentes proporções sílica/alumina e zeólita Y em diferentes bio-óleos. As características das zeólitas Y possuem poros maiores e sítios ácidos mais fracos, proporcionando a entrada de moléculas maiores já a H-ZSM-5 os poros são intermediários e os sítios ativos possuem maiores força ácida, e inibe o acesso de hidrocarbonetos. Os resultados obtidos na pesquisa mostram que os catalisadores H-ZSM-5 apresentaram um rendimento maior de líquido do que a zeólitas Y, entretanto as zeólitas Y geraram mais carvão e coque. A utilização de catalisadores HZSM-5 mostrou uma considerável produção de compostos aromáticos e decréscimo da quantidade de compostos oxigenados em temperaturas e tempos de residências diferentes.

Gayubo *et al.* (2004c) em sua pesquisa mostram a desativação do HZSM-5 no craqueamento da fração aquosa do bio-óleo em constantes ciclos de reação/regeneração. Os resultados obtidos demonstraram uma perda irreversível dos sítios ácidos por conta

da desativação por desaluminação da zeólitas causada pelo elevado teor de água.

Williams e Horne (1995) em sua pesquisa utilizaram as zeólitas Na-ZSM-5, H-ZSM-5, H-Y e alumina ativada para transformação direta dos vapores da pirólise em um reator de leito fixo. Os resultados obtidos acusaram que os catalisadores do tipo ZSM-5 tiveram um melhor resultado. A formação de poliaromáticos apareceram com todos os catalisadores.

Um dos principais desafios das zeólitas é a questão da elevada produção de coque, entretanto provoca rápida desativação dos sítios ativos do catalisador o que faz com que a queima contínua de coque seja uma opção econômica para deixar o bio-óleo viável industrialmente os obstáculos encontrados são o baixo rendimento de hidrocarbonetos, devido à baixa razão H/C da carga e indefinições relacionadas a operação da unidade. (BRIDGWATER; CZERNIK, 2004).

3.5.2 Hidrodesoxigenação

A hidrodesoxigenação (HDO) é realizada em altas pressões de hidrogênio e temperaturas controladas com a presença de catalisadores a base de níquel e molibdênio (NiMo) e a base de cobalto e molibdênio (CoMo), suportados em alumina na forma sulfetada, resultando na eliminação do oxigênio como água (QI *et al.*, 2007).

Venderboch *et al.* (2010) em suas pesquisas, testaram o HDO a diferentes pressões, temperaturas e velocidades espaciais. A pesquisa mostra que o tratamento térmico em alta pressão sem catalisador e hidrogênio é possível ser usado no período inicial de hidrodesoxigenação, o intuito é reduzir o oxigênio de 40% para 25% no bio-óleo. A junção dessas tecnologias combinadas seria capaz de gerar um produto com níveis de oxigênio próximo a 5%, e assim viabilizando a destinação em unidades de craqueamento catalítico.

Grange *et al.* (1996) em suas pesquisas mostraram a reatividade de diversos compostos oxigenados na reação de HDO com catalisadores à base de cobalto e molibdênio e níquel molibdênio, com o intuito de mostrar os parâmetros e condições que influenciam o controle da reação.

Huber *et al.* (2010) em suas pesquisas mostraram que uma das vantagens da utilização do HDO é a eliminação de oxigênio sob forma de água ao invés de CO e CO₂, dificultando a perda de carbonono bio-óleo e aperfeiçoando a razão H/C em função da adição de hidrogênio.

3.5.3 Pirólise Catalítica

A procura do melhoramento do bio-óleo vem sendo cada vez mais explorado e a pirólise catalítica é uma das alternativas de estudos e de melhoramento com o intuito de diminuir o teor de oxigênio em apenas uma etapa, fazendo com que o custo de condensação e vaporização no decorrer do processo de re-processamento do bio-óleo se torne mais barato.

O processo utiliza um catalisador sólido primeiramente há a pirólise da biomassa e, posteriormente, a conversão dos vapores pelo catalisador estes catalisadores podem ser primários ou secundários, assim os primários são misturados diretamente a biomassa por impregnação ou mistura física e os secundários são postos em um reator isolado que recebe vapores da pirólise da biomassa (MARTINS, 2012).

Um dos focos da pirólise catalítica é o uso de catalisadores com acidez elevada do tipo ZSM-5 o intuito da utilização de zeólitas é a diminuição do teor de oxigênio via desidratação, descarboxilação e descarbonização. Segundo estudos de Nokkosmaki *et al.*, (2000) e Putun (2010), os catalisadores do tipo básico, que correspondem aos óxidos metálicos, têm a finalidade de obter altas taxas de desoxigenação associada a uma menor perda de rendimento líquido, já que uma das desvantagens é a questão da considerável perda de rendimento líquido.

OLAZAR *et al.*, (2000) em seus estudos, utilizaram o HZSM-5 na pirólise da serragem de pinus insignis o teste foi feito com a temperatura em três fases, a primeira com 400 °C, a segunda com 450 °C e terceira com 500 °C, o resultado com o aumento de temperatura foi a diminuição da produção de carvão vegetal, coque, produtos líquidos e aumento dos gases do tipo hidrocarbonetos e CO e uma diminuição do CO₂, mostrando que o catalisador desoxigenou parcialmente o produto líquido.

Gómez (2002), em seu estudo diz que o número de reações que ocorrem ao mesmo tempo no processo de pirólise mais simples é tão grande que é praticamente impossível desenvolver um modelo cinético que considere todas essas reações. Neste caso, os modelos de estudos são os pseudomecanismos onde os produtos são chamados de carvão vegetal, alcatrão e gases.

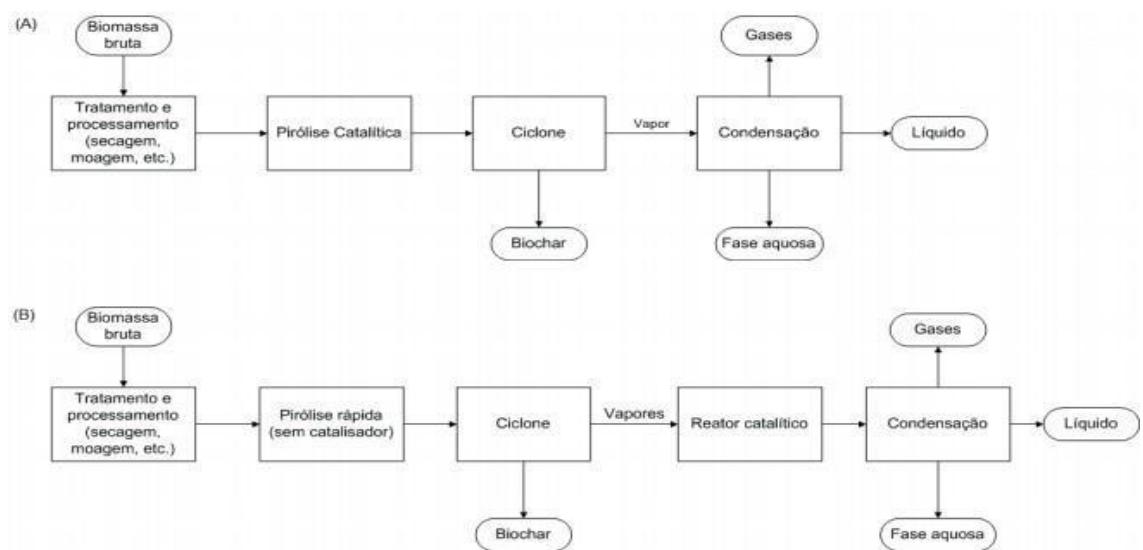
Czernik e French., (2010) estudaram aplicação de catalisadores do tipo zeólitas com a finalidade de retirar o oxigênio dos compostos originados no processo de pirólise. Nilsen *et al.*, (2007) estudaram sobre MCM-41, que é um material mesoporoso utilizado como

catalisador na pirólise de biomassa lignocelulósica para geração de bio-óleo e produtos químicos.

Lappas *et al.*, (2002) em seus estudos utilizaram um reator de leito fluidizado circulante para seus testes e no reator foi empregado o catalisador de craqueamento (FFC) e um aditivo comercial à base de ZSM-5, os dois empregados no refino de petróleo. Os dados obtidos da utilização do ZSM-5 na pirólise catalítica resultaram um menor rendimento de líquido e em maior produção de água, coque e gás (CO e CO₂), mesmo com menor quantidade de líquido, e o produto obtido foi de melhor qualidade. Observou-se que com o aumento da relação entre sólido e biomassa resultou no acréscimo de teor de água e na diminuição de compostos oxigenados pesados no produto líquido.

Liu *et al.*, (2014) e Wang *et al.*, (2014) em seus estudos abrangeram a questão de catalisadores em contato com o vapor que podem ser chamados de processos PRC *in situ* ou *ex situ* no modo *in situ* o catalisador é misturado com a biomassa dentro do reator e já a do modo *ex situ*, a biomassa é pirolisada usando um meio inerte e os vapores obtidos são transformados para um leito catalítico onde é fixado após o ciclone que separa o carvão vegetal. Os processos *in situ* e *ex situ* estão representados na Figura 06.

Figura 06 - Diagramas de blocos do processo de pirólise rápida catalítica: (A) *in situ*, (B) *ex situ*



Fonte: (Adaptado de YILDIZ *et al.*, 2016)

Ainda que a zeólita HZSM-5 apresenta um bom desempenho na pirólise catalítica, suas características catalíticas ainda podem ser melhoradas para que isso aconteça tem que aumentar a produção de compostos químicos desejados (JAE *et al.*, 2011). Os metais como Zn, Mo, Ga, Ni, Co, Cu, Mn e Fe são metais que podem ser incorporados na zeólita HZSM-5, onde pode melhorar seu desempenho, pois ajudam na acidez e promovem reações desejáveis durante a pirólise, aumentam o rendimento dos compostos de interesse e reduzem a formação de coque na superfície dos catalisadores (WANG *et al.*, 2014b).

3.5.4 Pirólise do Óleo de Fritura

O processo de pirólise de óleo e de gorduras foi bastante utilizado durante a Segunda Guerra Mundial para o fornecimento de hidrocarboneto na China (FONSECA, 2013). Os compostos gerados por essa pirólise são compostos semelhantes às dos combustíveis fósseis.

Frangui *et al.*, (1999) em suas pesquisas utilizaram o óleo de tungue saponificado para a obtenção de bio-óleo, que após refinado transformava em gasolina e diesel. Mistura (2008) diz que o óleo vegetal usado é um meio sustentável se sua reciclagem for utilizada, pois além de tirar um poluente do meio ambiente ele pode ser um gerador de energia de fonte alternativa.

Frangui *et al.*, (1999) afirmam que a pirólise do óleo e gorduras pode ser utilizado para obtenção de bio-óleo com um maior valor agregado. As moléculas menores apresentam características físico-químicas semelhantes aos combustíveis fósseis, dessa forma podem ser um substituto na produção de energia em motores a explosão.

Lima *et al.*, (2004) estudaram duas etapas distintas e sucessivas no processo de pirólise em óleos a primeira é chamada de cracking primário que é uma formação de espécies ácidas e a segunda etapa é chamada de cracking secundário, no qual os ácidos produzidos são degradados, estes produtos da fase primária.

Genari *et al.*, (2012) estudaram o rendimento da produção do piroecodiesel que utilizava o óleo de cozinha residual com uso de pré-tratamento. No experimento foi utilizado um óleo de cozinha pré-tratado para retirar as impurezas presentes através de uma filtração a vácuo posteriormente levado para retirada da umidade. Após essas etapas vem o processo de pirólise e os produtos do craqueamento térmico que são condensados

gerando o piroecodiesel. Os resultados obtidos foram um rendimento de 69,88% de piroecodiesel e o coque, um resíduo obtido com o craqueamento térmico, com produção de 17,68% e rendimento de 12,44%, obtendo, assim, resultados satisfatórios, o que demonstra a viabilidade da produção mesmo sem o uso de catalisadores.

3.6 Tipos de reatores de pirólise

Uma das linhas de estudos sobre otimizar o desempenho do processo de pirólise é o melhoramento dos reatores, o qual representa de 10 a 15% do custo total (BRIDGWATER, 2003). Cada reator apresenta características específicas para cada material de interesse no processo, eles podem ser de leito fluidizado ou fixo.

Sistemas de grande escala para produção de energia ainda não alcançaram importância na proporção comercial (RINGER; PUTSCHE; SCAHILL, 2006). Empresas como Ensyn Technologies, Dynamotive, BTG e Forshungszentrum Karlsruhe (FRZ) vêm incentivando a comercialização de unidades de grande porte (OASMAA *et al.*, 2010).

3.6.1 Reator de leito fluidizado

O reator de leito fluidizado tem sido bastante utilizado na indústria de processamento de petróleo e indústria química. O reator é integrado por uma mistura de fluidos sólidos que apresenta características similares às do fluido, isso é devido a introdução do fluido pressurizado através do leito (MOREIRA, 2015). O leito fluidizado é bastante utilizado pelas suas características do tipo: rápida transferência de calor, alta velocidade relativa entre o líquido e a fase sólida, um ótimo desempenho no controle de reação de pirólise e do tempo de residência do vapor, bom transporte térmico no interior do sistema e alta área de contato superficial entre o fluido e o sólido (Lv *et al.*, 2004).

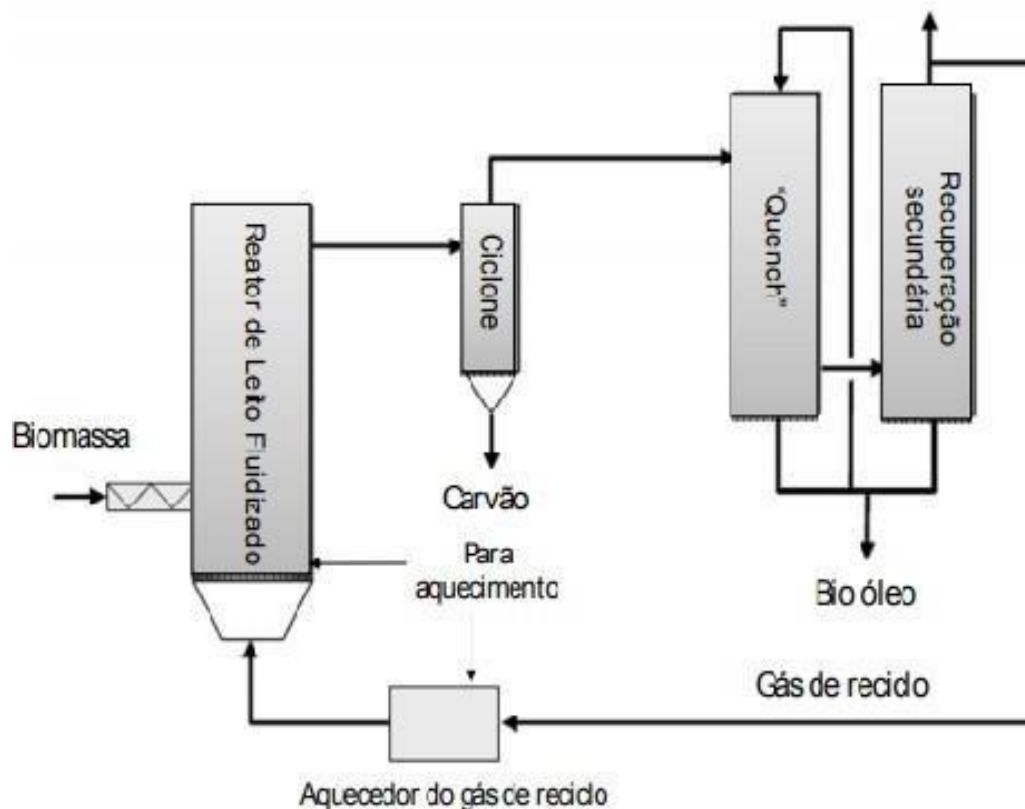
Para que o reator tenha um bom desempenho é necessário ter uma eficiência do suprimento de calor, o qual pode ser suprido para o leito através de pré-aquecimento dos gases de fluidização, que na maioria das vezes é a corrente gasosa dos produtos de pirólise, ou por meio de queimadores (RINGER; PUTSCHE; SCAHILL, 2006). Na maioria, os reatores são projetados para que o carvão gerado seja arrastado para fora do reator, visto que catalisam reações secundárias dos vapores de pirólise para isso ocorrer altas vazões de inerte precisa acontecer, resultando em reatores maiores e com maior eficiência dos ciclones e sistema de coleta de líquido o próprio produto obtido pelos ciclone é o carvão ele pode ser utilizado no próprio sistema novamente como fonte de calor, auxiliando na

combustão, o que tornou autossustentável seu produto (BRIDGWATER, 2011).

Apesar do reator ser de fácil construção e operação, ele precisa ser bem dimensionado assim como o do leito fluidizado é de grande importância estabelecer uma vazão de gás de fluidização de modo que se tenha um intervalo de residência na seção acima do leito entre 0,5 e 2s (RINGER; PUTSCHE; SCAHILI, 2006; BRIDGWATER, 2007).

Algumas entidades já citadas acima investem nesse tipo de tecnologia, a empresa canadense Dynamotive colocou em funcionamento uma unidade com potencial de 100 ton/dia de biomassa seca em West Lorne, Canadá, e uma unidade que começou a ser construída em 2006 chamada de Guelph com capacidade de 200 ton/dia (VENDERBOSCH e PRINS, 2010). Esta tecnologia é chamada de Biotherm, que é uma adequação da tecnologia desenvolvida pela Resource Transformations Internacional (RTI), a qual é utilizada para produção de bio-óleo e carvão para ser utilizado como carbono ativado (MOHAN; PITTMAN; STEELE, 2006). Figura 07 mostra o esquema do reator fluidizado.

Figura 07 - Esquema do reator de leito fluidizado



Fonte: (Adaptado de RINGER; PUTSCHE; SCAHILL, 2006).

3.6.2 Reator de leito fixo

O reator de leito fixo é acessível e seguro para utilização de combustíveis que são relativamente constantes em tamanho e tem uma baixa proporção de leve em sua composição, ele é um reator em que o sistema é controlado de aquecimento (RAJA, 2012). Sua utilização é indicada para pequenas gerações de energia e calor as características do sistema são: preservação de carbono elevado, prolongado tempo de residência sólida, baixa velocidade de gás e irrelevante teor de cinzas; as dificuldades destes reatores é a eliminação do alcatrão (JAHIRUL *et al.*, 2012).

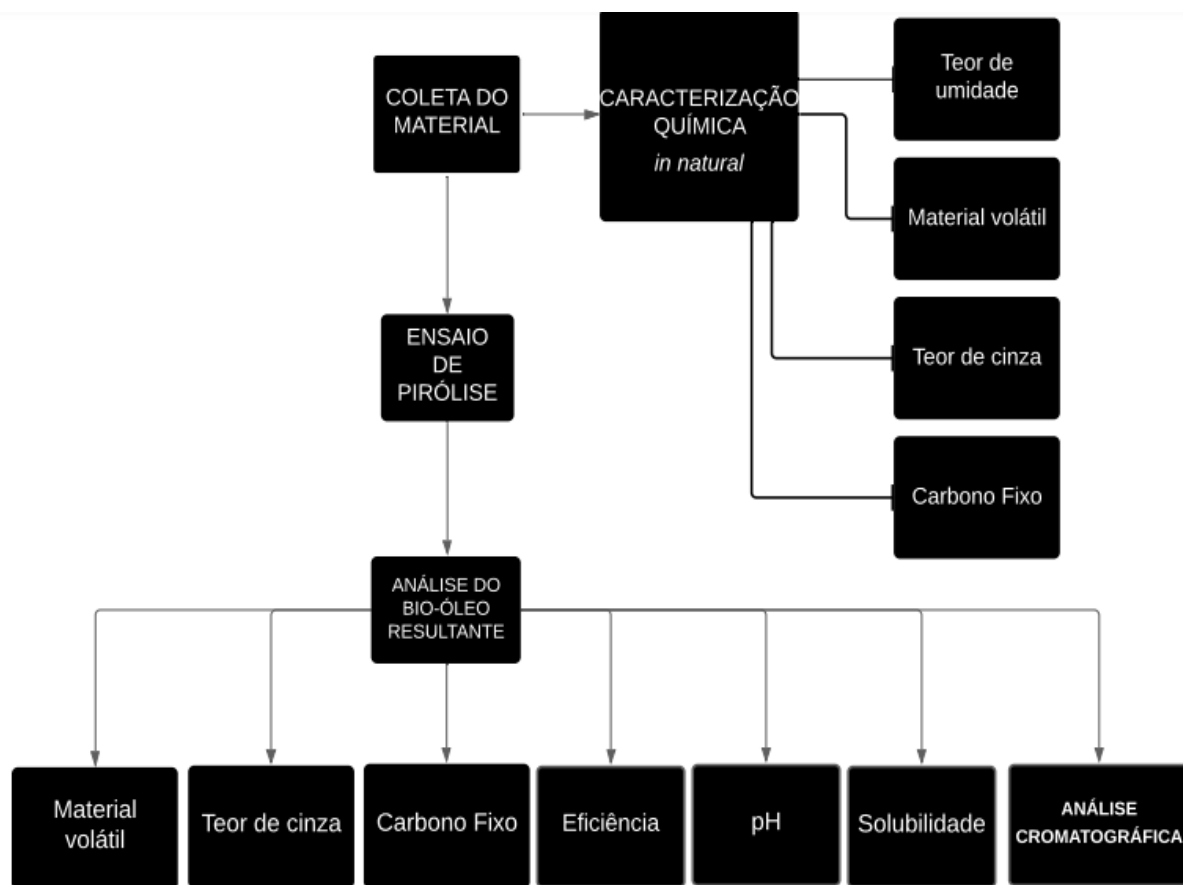
Sensóz (2003) em seus estudos utilizou um reator de leito fixo com pirólise lenta da casca de madeira do tipo *Pinus brutia* o experimento foi realizado utilizando fragmentos de 20 gramas de biomassa, com aquecimento de 7 e 40 °C min⁻¹, temperatura em torno de 300 e 500 °C. Os resultados obtidos com o aquecimento de 7 °C foram um rendimento de 11% a uma temperatura de 300 °C e 23,4% a 500 °C, já um aquecimento de 40 °C min⁻¹ o aproveitamento foi de 14,8% a temperatura de 300 °C e de 25,6% a 500 °C.

Gonzáles *et al.*, (2003) em seus experimentos utilizaram o reator de leito fixo, no qual foi aplicado o sistema de pirólise lenta do caroço da cereja com proporções de 10 gramas de biomassa e vazão de gás de arraste (N₂) igual a 0,2 L min⁻¹, a temperaturas entre 300 °C e 800 °C, então conseguiu observar que o rendimento do gás foi elevado com o aumento de temperatura com a variação de 300 °C – 800 °C, a eficiência foi de 8,8 e 47,6% respectivamente.

4 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Foi realizada uma pesquisa do tipo experimental. As etapas realizadas foram respectivamente coleta do material, caracterização química do material coletado, preparação e os procedimentos realizados para obter bio-óleo através de Pirólise do Óleo de Fritura industrial gerado pela empresa Burguer King. O diagrama esquemático da metodologia proposta pode ser visto na Figura 8.

Figura 08 - Desenho esquemático das atividades desenvolvidas.



Fonte: Próprio autor (2021).

4.1 Coleta do resíduo

A biomassa estudada foi coletada na rede FAST FOOD Burguer King, localizada nas dependências do Capim Dourado Shopping, em Palmas – TO, a coleta foi realizada em março de 2021, o resíduo foi levado para o Laboratório de análises de água do Instituto Federal do Tocantins e armazenado em um reservatório plástico apropriado, como mostra

na Figura 09.

Figura 09 - Óleo de fritura residual a ser empregado nesta pesquisa.



Fonte: Próprio autor (2021).

4.2 Caracterização do óleo residual

Os procedimentos realizados para a caracterização do óleo residual para esta pesquisa foram, o teor de cinzas, o teor de material volátil e o teor de carbono fixo e foram realizados com a amostra *in natura*.

4.3 Teor de Material Volátil

A metodologia seguida para a determinação do teor de material volátil foi proposta por Sanchez *et al.*, (2009). Para o ensaio, utilizou-se dois cadinho com peso pré-determinado um para amostra de 550 °C e o outro para a de 650 °C. Feito isso a amostra foi aquecida em uma mufla (Figura10) a uma temperatura de 850 °C por um tempo de 7 min, sem presença de oxigênio. Após o procedimento, a amostra foi resfriada à temperatura ambiente por 50 min, para obtenção da massa final. O ensaio também foi realizado na amostra natural, para o cálculo de materia volátil foi determinado pela Equação 1 descrita a seguir.

Equação 1;

$$\% \text{ material volátil} = \frac{A-B}{C} \times 100$$

Onde:

A = massa inicial do conjunto, em gramas;

B = massa final do conjunto, em gramas;

C = massa da amostra inicial, em gramas (aproximadamente 1g).

Figura 10- Mufla (Fornos Magnu's).



Fonte: Próprio autor (2021).

4.4 Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi determinado seguindo a metodologia sugerida por Cecchi (2003). Para o ensaio de teor de cinzas, foi realizado logo em seguida do ensaio de material volátil, no qual foram utilizados os mesmo cadinhos, o conjunto de cadinhos foi colocado na mufla por 1 hora a uma temperatura de 710 °C, posteriormente, os cadinhos foram retirados e armazenados em um dessecador por 50 min, assim que chegou em temperatura ambiente foi possível pesá-lo. Após o ensaio, a fórmula da Equação 2 foi utilizada para

determinar o teor de cinzas e o ensaio foi realizado em duplicata.

Equação 2;

$$\% \text{ cinzas} = \frac{A-B}{C} \times 100$$

Onde:

A = massa do conjunto após a queima, em gramas;

B = massa do cadinho vazio, em gramas;

C = massa da amostra utilizada antes da queima, em gramas (aproximadamente 1g).

4.5 Teor de Carbono Fixo

Para determinar o teor de carbono fixo (CF) foi utilizada a metodologia de Pedroza (2011), para o cálculo foi utilizado a porcentagem de material resultante que não evaporou após os ensaios dos teores de material volátil e cinzas. A Equação 3 mostra como foi calculado o teor de carbono Fixo.

Equação 3;

$$\% \text{ CF} = 100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ material volátil})$$

4.6 Ensaios de pirólise de óleo residual

O ensaio pirolítico foi realizado em um reator de leito fixo de aço inox, de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm. O reator (Figura 11) foi aquecido por forno bipartido reclinável (marca FLYEVER, modelo FE50RPN e linha 05/50) operado em regime de batelada. O gás de arraste utilizado na reação foi vapor da água aquecido a 130°C em autoclave (Figura12). O ensaio foi realizado em duas etapas, na primeira etapa utilizou-se uma temperatura de 550 °C e a segunda etapa 650 °C, com a mesma taxa de aquecimento de 20°C/min em ambos os ensaios.

Figura 11- Reator empregado no ensaio da Pirólise.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 12- Autoclave utilizada no ensaio da Pirólise.



Fonte: Próprio autor (2021).

Para a primeira etapa foi separado 200 ml de óleo e misturado com 20 g de cloreto de potássio (KCL), a mistura foi feita manualmente utilizando um bastão de vidro e misturada em um béquer, a proporção da quantidade de catalisador foi recomendado por Shie et al., (2003), e a quantidade de catalisador é 10% da quantidade de biomassa. Após diluição do catalisador no óleo, uma balança de precisão foi utilizada para o primeiro experimento no qual foi separado uma massa de 63,252 g, esta massa foi levada para o reator para a realização do ensaio, o qual teve uma duração de 60 min, dos quais 20 minutos foram em uma temperatura de 150 °C para aquecer o sistema, e 40 min em temperatura de 550 °C como proposto para o ensaio. Na Figura 13 mostra o óleo antes da mistura com catalisador e a balança de precisão que foi usada.

Para a realização da segunda etapa foi utilizado a mesma quantidade de massa da biomassa e de catalisador respeitando a proporção dos 10%, a mistura e a pesagem foi feita da mesma forma da primeira etapa, a massa separada para o experimento foi de 63,691 g, esta massa foi levada para o reator para a realização do experimento, o qual teve uma duração de 60 min, sendo 20 min na temperatura de 150 °C para aquecer o sistema e os outros 40 min na temperatura de 650 °C.

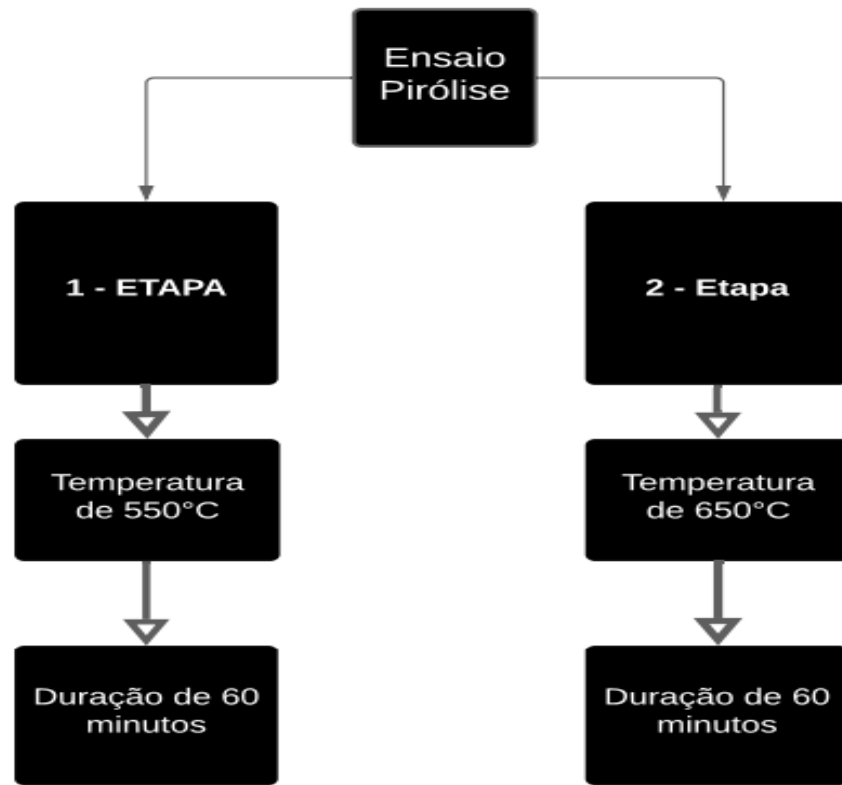
Após a reação e o resfriamento do material, o bio-óleo foi coletado, pesado e armazenado. O rendimento do material foi determinado por meio da relação entre a massa final após a pirólise e a massa inicial da biomassa empregada antes do processo. Os ensaios de pirólise foram realizados nas dependências do Laboratório LARSEN – IFTO, Campus Palmas. A Figura 14 mostra o desenho esquemático que foi realizado as etapas do ensaio de Pirólise.

Figura 13- Óleo de fritura e o catalisador cloreto de potássio.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 14- Desenho esquemático das etapas da pirólise.



Fonte: Próprio autor (2021).

4.7 Análise do Bio-óleo

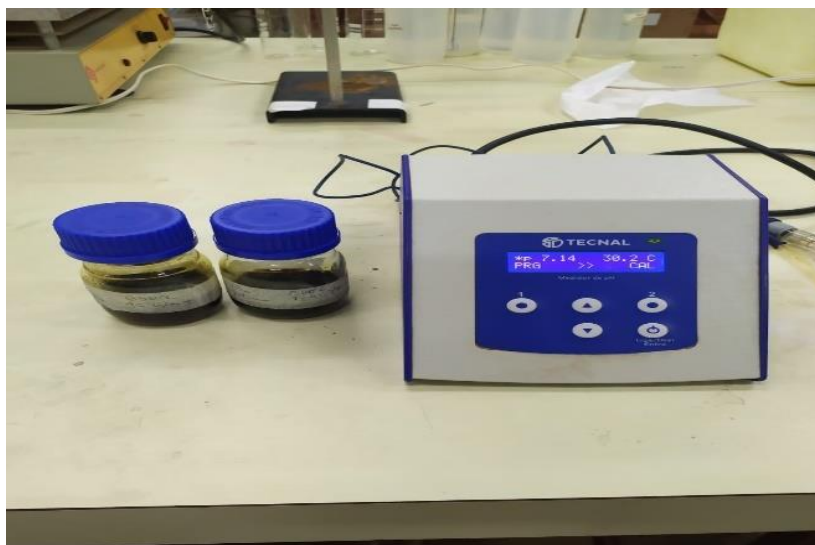
4.7.1 Material Volátil, Cinzas e Carbono Fixo

A metodologia empregada para se obter tais características do bio-óleo após a Pirólise, foram as mesmas utilizadas com a amostra *in natura*, já citadas anteriormente, na seção 4.2 (itens 4.3, 4.4, 4.5).

4.7.2 pH

O pH da amostra obtida após o ensaio de Pirólise, foi determinado usando um pHmetro digital, da marca TECNAL, modelo 3MP, como mostra na Figura 15. O pH foi obtido nas duas amostras resultantes dos ensaios e da amostra natural para efeitos de comparação.

Figura 15- pHmetro.



Fonte: Próprio autor (2021).

4.7.3 Teste de solubilidade

O Teste de Solubilidade foi o mesmo empregado por Oliveira (2020), onde foram utilizados alguns solventes, sendo eles: acetona, hexano, clorofórmio e diclorometano (Figura 16). No ensaio, utilizou um volume de amostra de 0,2 mL, medido com auxílio de uma pipeta graduada e em seguida transferido para um tubo de ensaio, a este sendo adicionado 3 mL de solvente. O material foi agitado e em seguida analisada a solubilidade do material no solvente empregado.

Figura 16- Solventes utilizados no Teste de Solubilidade.



Fonte: Próprio autor (2021).

4.7.4 Análise cromatográfica do bio-óleo

Com a finalidade de se identificar os compostos constituintes do bio-óleo foi empregado um cromatógrafo modelo Varian CP 3800, acoplado a um detector de espectrometria de massas. Essa análise foi realizada no Centro Analítico de Instrumentação da Universidade de São Paulo (USP) – (Central Analítica).

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo dedica-se a mostrar os resultados obtidos nos ensaios realizados para caracterização do bio-óleo resultante e da amostra *in natura*, de acordo com a metodologia descrita no capítulo anterior. Os ensaios que foram realizados para caracterização da biomassa foram o de teor de material volátil, teor de cinzas, teor de carbono fixo, pH e o de solubilidade.

Logo abaixo, na Figura 17, demonstra o principal produto estudado neste presente trabalho, o bio-óleo gerado após o processo de pirólise. Na Figura 17 percebe-se uma coloração escura, esta coloração está ligada a degradação do material combinada ao arraste de graxas, gases e outros contidos no material (PEDROZA, 2011).

Figura 17- Bio-óleo obtido pelo processo de pirólise.



Fonte: Próprio autor (2021).

5.1 Caracterização química do material natural

Através do Quadro 1, é possível verificar os resultados obtidos dos ensaios de caracterização do óleo de fritura ainda natural, os ensaios descritos são, teor de material volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo, além de resultados comparativos de outros trabalhos e pesquisas.

Quadro 1 - Caracterização da biomassa e comparativos de outros trabalhos.

		Resultados Comparativos (%) Outras Biomassa			
Ensaio	Amostra Natural (%)	Teixeira et al. (2016)	Almeida, B,B,M. (2008)	Pedrosa, L, A. (2019)	Filippetto,D. (2008)
		Eucalyptus Sp.	Palha de Cana-de-Açúcar	Capim Andropogon	Casca de arroz
Material Volátil	99,5	79,35	81,6	87,98	68,42
Cinzas	0,5	1,35	11,7	4,52	15,56
Carbono Fixo	0	19,30	6,9	7,5	16,02

Fonte: Próprio autor (2021).

Observando a Quadro 1 nota-se que não foi feito a comparação do teor de umidade entre as amostras, pois os ensaios em relação ao óleo de fritura, foram feitos a base seca, sem a presença de umidade, por esse motivo a tabela á cima não mostra os teores de umidade das outras biomassas.

Ao comparar os valores do teor de material volátil nota-se que o resultado apresentado nesta pesquisa (99,5%) é maior em relação aos demais trabalhos. O valor obtido é considerado excelente, pois alguns autores como Jardim (2014), diz que é um componente favorável no processo de pirólise, pois acelera esse procedimento e mantém as suas chamas uniformes. Lewandowski (1997); Klautau (2008) afirmam que o teor de material volátil interfere na ignição, onde quanto maior teor maior será a reatividade implicando diretamente na ignição, e facilitando a queima da biomassa.

Observando o teor de cinzas, obtido por essa pesquisa, o valor em questão (0,5%) é o

menor em relação aos demais trabalhos. Esse valor é considerado excelente pois de acordo com Lins et al. (2020) quanto maior o teor de cinzas menor é o interesse na produção de energia, pois as cinzas nos resíduos diminuem a eficiência do material combustível, fazendo com que o consumo de oxigênio seja maior para poder derreter as cinzas.

De acordo com Silva (2018), quanto menor o teor de carbono fixo e maior teor de material volátil mais rápido ocorre a combustão contribuindo no processo de pirólise, pois estão ligados a combustão da biomassa. Com isso, os resultados obtidos por essa pesquisa como mostra na Quadro 1 são satisfatórios pois o teor de carbono é baixo (0%) e o de material volátil elevado.

5.2 Eficiência do processo

Analisando a eficiência do óleo de fritura para a produção de bio-óleo em um reator de leito fixo em temperatura a 550 °C, o rendimento obtido foi de 77,3% e a eficiência da amostra de 650 °C foi de 80,2%. A fins de comparação, Madhu *et al.*,(2016), em seus experimentos, utilizou as cascas de capuchos de algodão para obter o bio-óleo e obteve rendimento de 51,25%. Agrizzi (2018), em seus estudos, utilizou a casca do coco para alcançar o bio-óleo pelo processo de pirólise, seu rendimento com maior porcentagem foi 49,45% utilizando uma temperatura de 500 °C. Almeida (2008) utilizou a palha da cana de açúcar para obter o bio-óleo e alcançou rendimentos de 35%.

Fonseca (2013) realizou a pirólise utilizando o óleo de palma e o rendimento foi de 89,6% na temperatura de 400 °C. Mota (2013) em seu estudo de pirólise utilizou quatro tipos de catalisadores para observar as características do bio-óleo resultante e o com melhor rendimento foi o catalisador HZSM-5 com um rendimento de 79%, no mesmo trabalho utilizou o catalisador Na_2CO_3 no óleo de andiroba, óleo de girassol, óleo de fritura residual e sebo bovino, os melhores rendimentos foram com o óleo de andiroba 74% e o óleo de fritura 69% ambos em temperatura 450 °C.

Santos (2013) em seu estudo utilizou o catalisador carbonato de sódio no óleo de fritura e o rendimento foi de 55,41% com a proporção de 10% que é a mesma desse trabalho, e utilizando uma proporção de 5% sua eficiência foi de 67,32% de produto líquido.

Observa-se que os valores de rendimentos de produção de bio-óleo a partir da pirólise de óleo de fritura, com a presença do catalisador cloreto de potássio da presente pesquisa, são superiores aos observados na literatura, e isso indica que o processo adotado nessa pesquisa

pode ser repetido ou até aperfeiçoado para outras escalas, produzindo biocombustível para uso industrial.

5.3 Caracterização química do bio-óleo

A Quadro 2 evidencia os resultados obtidos no processo de pirólise do óleo de fritura com adição do catalisador cloreto de potássio para a produção do bio-óleo.

Quadro 2 - Caracterização do bio-óleo e comparativos com outros trabalhos.

Análise	Amostra 550 °C (%)	Amostra 650 °C
Material volátil	100	100
Cinzas	0	0
Carbono fixo	0	0

Fonte: Próprio autor (2021).

O teor de umidade foi feito á base seca, por esse motivo, na Tabela 3, não apresenta o resultado deste ensaio. O resultado obtido após o ensaio em relação ao teor de material volátil foi de 100%, o que é considerado um valor bom pois Mânica (2015), diz que quanto maior o valor de material volátil maior sera a facilidade da amostra entrar em combustão em um curto período de tempo.

Em relação as cinzas teor não foi detectado nas duas amostras de bio-óleo aqui estudados, o que representa um excelente resultado pois, de acordo com Kimura (2009), a presença de cinzas no bio-óleo pode danificar motores a combustão causando corrosão. O valor máximo para não danificar motores é de 0,1%, sendo assim os valores obtidos pelo estudos estão no limite previsto pelo autor. O teor de carbon fixo 0% o mesmo da amostra *in natura*.

5.4 pH

Através da Quadro 3 é possível verificar os resultados obtidos do ensaio de pH das amostras do bio-óleo obtido através do processo de pirólise do óleo de fritura, além dos resultados comparativos de outros trabalhos e pesquisas.

Quadro 3 - Valores de pH

Amostras de pH	pH	Resultados Comparativos	pH
Amostra 550 °C (Próprio autor)	4,54	Palha da cana-de-açúcar Almeida (2008)	3,2
Amostra 650 °C (Próprio autor)	4,44	Fibra de coco Figueiredo (2011)	3,12
Amostra Bruta (Próprio autor)	7,2	Lodo de esgoto Pedroza (2011)	6,16

Fonte: Próprio autor (2021).

As duas amostras apresentam características de um produto ácido, comparado com a mostra natural que foi de 7,2 o pH, essa alteração do pH está relacionada ao processo de pirólise, pois os produtos gerados pelo processo têm o caráter ácido. A fins de comparação, Almeida (2008), em sua pesquisa utilizando o processo de pirólise da palha da cana de açúcar para obter o bio-óleo obteve resultados referentes ao pH de 3,2. Figueiredo (2011), utilizando a fibra de coco no processo de pirólise, encontrou o pH de 3,12. Pedroza (2011), em seus estudos, utilizou o lodo de esgoto no processo de pirólise e o pH obtido foi de 6,16. Bridgwater (2004) em sua pesquisa mostra que os líquidos derivados da pirólise têm caráter ácido (pH~2,5).

O pH em relação as amostras dessa pesquisa foram melhores que o da palha da cana-de-açúcar e da fibra de coco isso pode está ligado ao catalisador utilizado pois de acordo com Santos (2019) o uso de catalisadores no processo de pirólise pode reduzir a acidez.

Na Quadro 3 o lodo apresentou o melhor pH, o mais próximo da neutralidade e isso é por causa da sua composição química, de acordo com Fonts *et al.*, (2009) o pH obtido a partir do lodo de esgoto é diferente de biomassas lignocelulósicas, devido á presença de compostos contendo nitrogênio nos óleos pirolíticos de lodo residual. De acordo com Zhang *et al.*, (2011), o pH de bio-óleo gerado por materias lignocelulósicos e outras biomassas é baixo por causa da presença de ácidos carboxílicos, especialmente o acético e o fórmico.

Teste de solubilidade

Na Quadro 4 está diagnosticado as possíveis análises feitas para o Teste de Solubilidade.

Quadro 4 – Teste de Solubilidade

Tipos de Solvente	Resultados	
	Amostra á 550 °C	Amostra á 650 °C
Acetona	Mistura solúvel	Mistura solúvel
Hexano	Mistura solúvel	Mistura solúvel
Clorofórmio	Mistura solúvel	Mistura Parcialmente solúvel
Diclorometano	Mistura solúvel	Mistura insolúvel

Fonte: Próprio autor (2021).

A solubilidade do bio-óleo com acetona e hexano para as duas amostras são consideradas totais. Para o clorofórmio amostra de 550 °C é solúvel e amostra de 650 °C é parcialmente solúvel. Na Figura 18 mostra o tubo de ensaio aonde houve uma pequena concentração de resíduo. Utilizando o solvente diclorometano à 550°C obteve como resultado mistura solúvel, enquanto que a 650°C não se misturou. Para Pedroza (2011) a solubilidade do bio-óleo depende de alguns fatores, como a forma e o período de armazenamento, de maneira que dependendo das reações ocorrem entre suas moléculas no processo de polimerização, tem-se as chances de mistura ou não entre a amostra e os solventes.

Figura 18- Teste de Solubilidade.



Fonte: Próprio autor (2021).

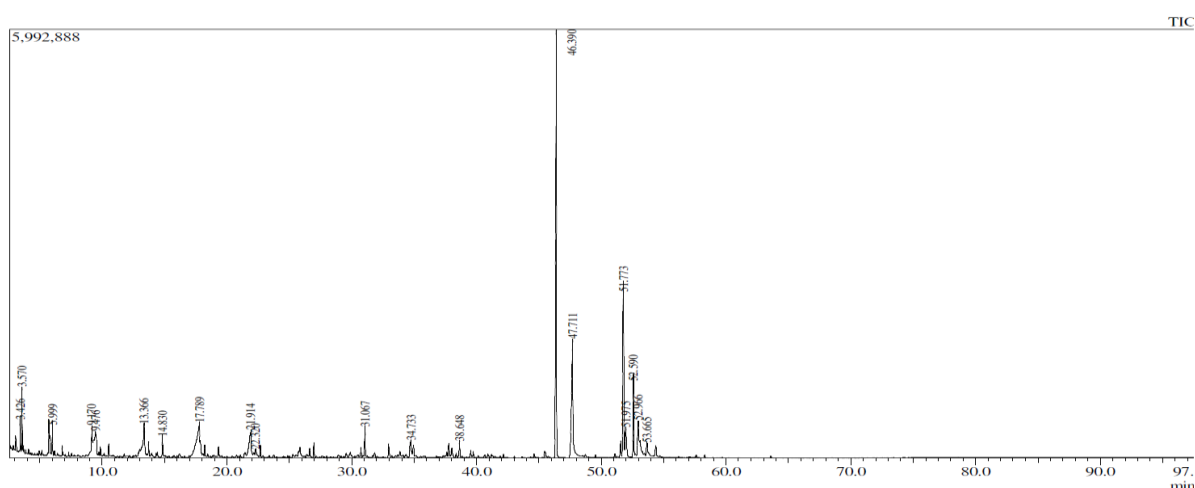
5.6 Densidade do bio-óleo obtido a partir de óleo de fritura

A densidade do bio-óleo obtido das amostras após o ensaio de pirólise é de 1,057 g/mL e 1,123 g/mL das amostra de 550 °C e 650 °C respectivamente. Segundo Oasmaa e Peacocke (2001), a densidade do bio-óleo está relacionada com o conteúdo de água presente no líquido. De acordo com Menezes *et al.*, (2006) a massa específica é uma propriedade do diesel referente ao sistema de injeção da bomba, os injetores são adaptados para inserir um volume pré-determinado de combustível. A massa específica acima da faixa de regulação podem levar a produção de misturas rica de ar/combustível, o que aumenta a emissão como o monóxido de carbono e material particulado, enquanto valores baixos de massa específica podem favorecer na formação de uma mistura podre, ocasionando uma perda de potência no motor e aumento no consumo de combustível (ALEME,2011). Os resultados obtidos são bons pois a densidade do diesel é de 0,865 g/mL e o da pesquisa foi maior, com isso pode ser usado como adição no diesel ou gasolina.

5.7 Análise cromatográfica

A Figura 19 apresenta o cromatograma do bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura na presença do catalisador cloreto de potássio (KCl). Foram identificados 20 compostos diferentes no bio-óleo aqui estudado, tendo o biocombustível em sua constituição hidrocarbonetos alifáticos de pequenas cadeias carbônicas e ácidos carboxílicos de pequenas e longas cadeias.

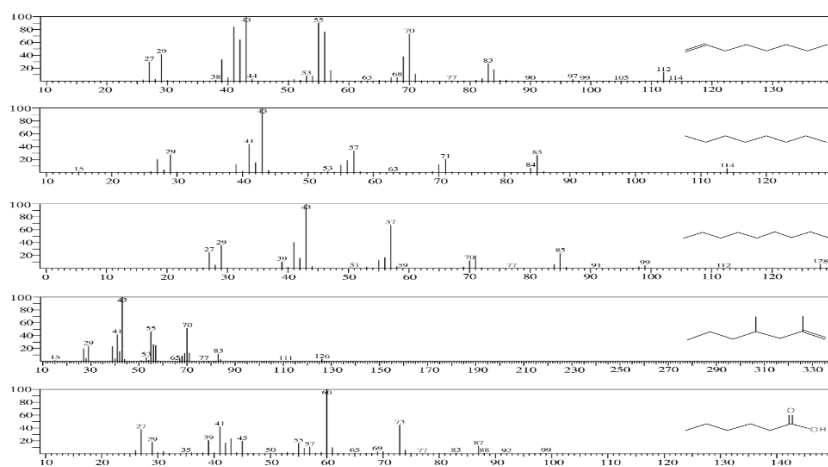
Figura 19 – Cromatograma do bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura usando o catalisador KCl.



Fonte: Próprio autor (2021).

Na Figura 20 são apresentados alguns dos compostos identificados no bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura na presença do catalisador cloreto de potássio (KCl).

Figura 20 – Identificação de alguns compostos presentes no bio-óleo obtido durante a pirólise de óleo de fritura usando o catalisador KCl.



Fonte: Próprio autor (2021).

O processo de pirólise se caracteriza pela degradação térmica de compostos orgânicos de grandes cadeias carbônicas em estruturas mais simples de menor massa molecular (Pedroza, 2011). O óleo de fritura usado nessa pesquisa foi submetido ao processo de pirólise na presença do catalisador KCl com o objetivo de se produzir compostos com cadeias carbônicas mais simples e com baixo conteúdo de compostos oxigenados visando o seu uso como combustível.

O óleo aqui usado como precursor 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).

A presença de compostos com baixas quantidades de carbono na estrutura química (6, 8 e 9 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 pode ter sido favorecida pela presença do catalisador empregado nessa pesquisa (KCl), com a geração de biocombustível com possível aplicação industrial.

Diversos catalisadores estão sendo utilizados nos processos de tratamento térmico de borra de petróleo, visando-se obter um maior rendimento de obtenção das frações líquida e gasosa, visto que são essas as frações com maiores poderes caloríficos. Pesquisa desenvolvida por SHIE *et al.*, (2003) indica a atuação de forma eficiente do catalisador KCl durante a pirólise de borra de petróleo. Segundo os pesquisadores o catalisador empregado atuou na ruptura de cadeias longas de carbono, originando o bio-óleo com estruturas carbônicas mais simples com baixo número de carbono.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os percentuais encontrados da caracterização da amostra *in natura*, percebe-se que os valores do teor de material volátil, teor de cinzas e carbono fixo estão dentro dos padrões estipulados pelas bibliografias, visto que tais resultados influenciam na capacidade do óleo de fritura entrar facilmente em combustão.

Ao longo da efetivação dos objetivos específicos retratados nesta pesquisa, atingiu-se as seguintes conclusões:

O teor de material volátil, teor de cinzas e o de carbono fixo resultou em um valor excelente, principalmente no teor de cinzas que foi 0%, pois as cinzas prejudicam os motores devido a corrosão.

No processo de pirólise do óleo de fritura, o material empregado resultou em um rendimento de 77,3% e 80,2% das amostras de 550 °C e 650 °C respectivamente. Este resultado é considerado excelente, pois comparado a outros trabalho está na mesma faixa ou até superior aos resultados adquiridos.

Em relação ao pH os resultados obtidos para amostra de 550 °C foi um pH de 4,54 e para amostra de 650 °C o seu pH foi de 4,44, resultados otimistas, pois de acordo com Bridgwater (2004), bio-óleos gerados pelo processo de pirólise possuem um pH de aproximadamente 2,5.

Os resultados obtidos em relação a densidade da amostras de 550 °C foi de 1,057 g/mL e para amostra amostra 650 °C obteve uma densidade de 1,123 g/mL, resultados considerados bons pois estão acima da faixa de regulação dos combustíveis, podendo ser utilizados como aditivos para os combustíveis.

Os resultados obtidos pelo Teor de Material Volátil, Teor de Cinzas, Carbono Fixo, rendimento, pH, solubilidade e densidade do bio-óleo demonstraram em suas propriedades que se trata de um líquido consideravelmente atraente para a indústrias em substituição de combustíveis fósseis.

A utilização dessa biomassa para estes fins pode promover benefícios para natureza e economia, pois é uma biomassa que é descartada facilmente, com isso seria possível aquisição desse material com baixo custo trazendo benefícios econômicos e sua reutilização é de grande importância para o meio ambiente. Portanto o Óleo de Fritura é uma alternativa de biomassa viável a ser empregado no processo de pirólise para a produção de bio-óleo.

Recomenda-se para trabalhos futuros a realização do processo de pirólise do óleo de fritura com outros catalisadores para fins de comparação. Outra proposta é analisar

quantitativamente e qualitativamente os produtos provenientes das transformações da biomassa.

7.0 REFERÊNCIAS

Agrizzi, T; **Produção de bio-óleo a partir da pirólise de casca de coco em leito fixo.** Dissertação (Pós-Graduação em Energia). Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018.

ALEME, H. G. **Determinação de parâmetros físico-químicos do óleo diesel a partir de curvas de destilação utilizando técnicas quimétricas.** (Doutorado em Ciências-Químicas) – Instituto Federal de Minas. Belo Horizonte 2011. 174 p.

ALMEIDA, B, B, M. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico.** Dissertação (Mestre Ciência em tecnologia de processos químicos e bioquímicos). Universidade Federa do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2018.

ALMEIDA, B. B. M. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico.** Dissertação(Mestre em Ciências em tecnologia de processos químicos e bioquímicos).UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: março de 2021.

ANTOS, A. L. F. et al **Agro-industrial residues as low-price feedstock for diesel-like fuel production by thermal cracking.** Bioresource Technology, 6157–6162, 2010.

ARANTES, V.; SADDLER, J.N. **Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis.** Biotechnology for Biofuels,v. 3, n. 4, 2010.

ARBEX, A. M.; CANÇADO, D. E. J.; PEREIRA, A. A. L.; BRAGA, F. L. A.; SALDIVA, N. H. **Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, São Paulo, SP, p.158-174, 2004. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n2/v30n2a15.pdf>. Acesso em: março, 2021.

BAJAY, S.V., FERREIRA, A.L. **A energia de biomassa no Brasil.** In: ROSILLOCALLE, F.; BAJAY, S.V.; ROTHMAN, H. **Uso da Biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, Cap. 2, p.71-120, 2005.

BASU, P. **Biomass Gasification and Pyrolysis: practical design and theory**. Oxford: Elsevier, 2010.

BRAMMER, J.G.; LAUER, M.; BRIDGWATER, A.V. **Opportunities for biomass-derived “bio-oil”**. In European heat and power markets. Energy Policy Vol. 34 p. 2871–2880, 2006.

BRAMMER, J.G.; LAUER, M.; BRIDGWATER, A.V. **Opportunities for biomass-derived “bio-oil”**. In European heat and power markets. Energy Policy v. 34 p. 2871–2880, 2006.

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

BRIDGWATER, A. V. **Biomass Pyrolysis – an overview prepared by task 34**. In TUSTIN, J., **IEA Bioenergy Annual Report**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 86, n. 12, p. 1755-1768, 2006.

BRIDGWATER, A. V. **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass**.

BRIDGWATER, A. V. **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass**. Chemical Engineering Journal, v. 91, n. 2-3, p. 87-102. 2003.

BRIDGWATER, A. V.; CZERNIK, S. **Overview of application of biomass fast pyrolysis oil**. Energy and Fuels, v. 18, n. 2, p. 590-598, 2004.

BRIDGWATER, A.V. **Biomass Pyrolysis – an overview prepared by task 34**. In: TUSTIN, J. IEA Bioenergy Annual Report 2006, www.ieabioenergy.com, 2007.

BRIDGWATER, A.V. **Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading**. Biomass and Energy, [s. n], p. 1-27, 2011.

BRIDGWATER, T. **Biomass for energy**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 86, n. 12, p. 1755-1768, 2006.

CARDOSO, M, B. **Uso da biomassa como alternativa energética. Dissertação (Graduação em Engenharia elétrica)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2012.

CARDOSO, A.L. **Pirólise lenta de serragem de eucalipto para a obtenção de bio-óleo e carvão**. Dissertação Universidade Federal de Santa Maria (2004), [Consult 01- abril - 2021]. Disponível em WWW: <URL http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=737 >.

CECCHI, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análise dos alimentos. In: CECCHI, H. M. **Cinza e conteúdo mineral**. 2.ed. Campinas: UNICAMP, 2003. p 49-59.

CHERUBINI, F.; STROMMAN, A. **Principles of Biorefining**. In: ASHOK et al. Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes. Cap.1, p.1-22, 2011.

CHIARAMONTI, D.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y. **Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 11, n. 6, p. 1056-1086.2007.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 362/5, Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>. Acesso em: Março de 2021.

CZERNIK, S.; FRENCH, R. **Catalytic Pyrolysis of Biomass for Biofuels Production**. FuelProcessing Technology, v.91, n. 1, p. 25-32, 2010.

DANIELA, G. L.; VALERIO C.D. S.; ERIC, B. R.; DANIEL, A. C.; ÉRIKA, C.V. C.; FLÁVIA, C. R.; KLEBER, C. M.; JOEL C. R.; PAULO A.Z. S. **Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils**. J. Anal. Appl. Pyrolysis Vol. 71 p. 987–996, 2004.

DEMIRBAS, A. **Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals**. Energy Conversion and Management Vol. 42, p.1357-1378, 2001.

DEMIRBAS, A. **The influence of temperature on the yields of compounds existing in biooils obtained from biomass samples via pyrolysis**. Fuel Processing Technology, v. 88, n. 6, p. 591- 597, 2007.

DISCONZI, S. G. **Coleta seletiva do óleo residual doméstico: desafios e perspectivas para um aproveitamento socioambiental e sustentável**. Dissertação (Mestre em Energia e Bioenergia), Lisboa – Portugal, 2013.

FANGRUI MA, MILFORD A. HANNA - **Biodiesel production: a review**. Bioresource

Technology Vol. 70 p. 1-15, 1999.

FANGRUI, M.; M, A. H. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology Vol. 70, p. 1-15, 1999.

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

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pó da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bioóleo**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

FILHO, T. S.; SENA, M. F. M.; LOUREIRO, M. M. SILVA, R. E.; MATTOS, A. U.; SILVA, B. G. **Aspectos associados ao descarte inadequado e ao reuso do óleo vegetal residual**. Revista Conhecimento Online. Ano 6, Vol. 1, Abril, 2014.

FLÁVIA, C. R.; KLEBER, C. M.; JOEL C. R; PAULO A.Z. S. **Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils**. J. Anal. Appl. Pyrolysis Vol. 71 p. 987–996, .2004..

FONSECA, M. R. A. **Pirólise de óleos vegetais de elevada acidez**. Dissertação (Mestre Ciências e Tecnologia, para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Bioenergia). Lisboa - Portugal, 2013.

FONTS, I., KUOPPALA, E., OASMAA, A. **Physicochemical properties of product liquid from pyrolysis of sewage sludge**. Energy & Fuels, 23, p.4121–4128, 2009.

FREITAS, M. G. **Biomassa, uma fonte de energia**. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica), UFRJ. Rio de Janeiro:2016.

FUNAZUKURI, T.; HUDGINS, R.R.; SILVESTON, P.L. **Product distribution in pyrolysis of cellulose in a microfluidized bed**. Journal Analytical Appliel Pyrolysis, v. 9, p. 139-158, 1986.

G.; LEE, J.; CHEN, S.; TANG, J. **Aromatic hydrocarbons production from ex situ catalysis of pyrolysis vapor over Zinc modified ZSM-5 in a packed-bed coupled with microwavepyrolysis reactor**. Fuel, v. 129, p. 78-85, 2014b.

GAYUBO, A. G.; AGUAYO, A. T.; ATUTXA, A. et al., 2004a. **Transformation of**

oxygenate components of biomass pyrolysis oil on a HZSM-5 zeolite. I. Alcohols and phenols. *Industrial Engineering Chemistry Research*, v. 43, n. 11, p. 2610-2618.

GENARI, M. Z.; CAROLINA, M.; DÉBORA, F.; LUCAS, V. **Produção de piroecodiesel por craqueamento térmico de óleos residuais de frituras sem o uso de catalisador.** Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul – RS 2012.

GIANNETTO, G. **Zeoitas: Características, propiedades y aplicaciones industriales.** 1 ed. Caracas: Ed. Edit, p 170, 1990.

GÓMES, E. O. **Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola), Campinas – SP, 2002.

GÓMEZ, E. O. **Estudo da Pirólise Rápida de Capim Elefante em Leito Fluidizado Borbulhante Mediante Caracterização dos Finos de Carvão.** Dissertação: (Doutorado-Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas-unicamp), Campinas, 2002.

GONZÁLEZ, J.; CANITO, E.J. **Pyrolysis of cherry stones: energy uses of the different reactions and kinetic study.** *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, v. 67, p. 165-190, 2003.

GONZALEZ, W. A.; F, M. S.; MARTINS, E. P.; REGUERA, F. M.; PASTURA, N. M. R. **Biodiesel a partir de óleos vegetais.** *Encontro de Energia no Meio Rural*, An. 3, 2003.

GRANGE, P.; LAURENT, E.; MAGGI, R. et al. **Hydrotreatment of pyrolysis oils from biomass: Reactivity of the various categories of oxygenated compounds and preliminary techno-economical study.** *Catalysis Today*, v. 29, n. 1-4 SPEC. ISS., p. 297-301, 1996.

HAJALIGOL, M.; WAYMACK, B.; KELLOGG, D. **Low temperature formation of aromatic hydrocarbon from pyrolysis of cellulosic materials.** *Fuel*, v. 80, p. 1799-1807, 2001.

HUBER, G. et al. **Renewable chemical commodity feedstocks from integrated catalytic processing of pyrolysis Oils.** *Science*, v. 330, [s. n.], p. 1222-1227, 2010.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. **Synthesis of transportation fuels from**

biomass:chemistry, catalysts, and engineering. Chemical reviews, v. 106, n. 9, p. 4044-4098, 2006.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. **Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering.** Chemical Reviews, v. 106, n. 9, p. 4044-4098, 2006.

JAE, J.; TOMPSETT, G. A.; FOSTER, A. J.; HAMMOND, K. D., AUERBACH, S. M.; LOBO, R. F.; HUBER, G. W. **Investigation into shape selectivity of zeolite catalysts for biomass conversion.** Journal of Catalysis, v. 279, n. 2, p. 257-268, 2011.

JAHIRUL, M. I.; RASUL, M. G.; CHOWDHURY, A. A.; ASHWATH, N. **Biofuels Production through Biomass Pyrolysis.** A Technological Review. Energies v. 5, p. 4952-5001, 2012.

JARDIM, Juliana Marangon. **Potencial Energético de Diferentes Biomassas Agroflorestais.** 2014. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Minas Gerais, 2014.

KAMM, B.; GRUBER, P. R.; KAMM, M. **Biorefineries - Industrial Processes and Products.** WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weiheim, Germany. v.1, 2006.

KAMM, B.; KAMM, M.; GRUBER, P. R. et al., 2006. "Biorefineries Systems - An Overview". In: KAMM, B.; GRUBER, P. R.; KAMM, M. **Biorefineries - Industrial Processes and Products.** v.1. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weiheim, Germany.

KATIKANENI, S. P. R.;ADJAYE, J. D.;BAKHSHI, N. N. **Performance of aluminophosphate molecular sieve catalysts for the production of hydrocarbons from wood-derived and vegetable oils.** Energy & Fuels, v. 9, n. 6, p. 1065-1078, 1995.

KIMURA, L. M. **Uma contribuição à pirólise de biomassa: avaliação de alguns resíduos da agroindústria como fonte de energia alternativa.** Dissertação (Mestrado em Engenharias) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

KLASS, D.L. **Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals.** 1st Edition. San Diego: Academic Press, p. 651, 1998.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos.** Dissertação. 192f. (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos

e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.

LAPPAS, A. A. et al. **Biomass pyrolysis in a circulating fluid bed reactor for the production of fuels and chemicals**. Fuel, v. 81, n. 16, p. 2087-2095, 2002.

LEWANDOWSKI, I; KICHERER, A. **Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of Miscanthus x giganteus**. European Journal of Agronomy, v. 6, p. 163 – 177, 1997.

Lins, S.R.T; Braz, L.R; Junior, S,C,G,C; Correia, V.T.H; Silva, C.T; Walter, S,L. **Rendimento e caracterização do carvão vegetal de galhos de mimosa caesalpinifolia benth**. BIOFIX Scientific Journal v. 5 n. 1 p. 39-43 2020.

LIU, C.; WANG, H.; KARIM, A. M.; SUN. J.; WANG. Y. **Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass**. Chemical Society Reviews, v. 43, n.22, p. 7594-7623, 2014.

LV, P.M.; XIONG, Z.H.; CHANG, J.; WU, C.Z.; CHEN, Y.; ZHU, J.X. **An experimental study on biomass air–steam gasification in a fluidized bed**. Bioresources Technology, v. 95, p. 95- 101. 2004.

MADHU, P.; KANAGASABAPATHY, H.; MANICKAM. **Cotton shell utilization as a source of biomass energy for bio-oil by flash pyrolysis on electrically heated fluidized bed reactor**. J Mater Cycles Waste Manag 18:146–155, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0318-y>.

MÂNICA, A. N. **Determinação do poder calorífico do lodo de esgoto doméstico e industrial a partir da análise imediata**. Chapecó: UFFS, 2015. 15 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, 2015.

MARTINS, B, R. **Pirólise rápida catalítica do capim elefante utilizando materiais mesoporosos e óxido metálico para desoxigenação em bio-óleo**. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo – PPGCEP). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2012.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 3): gasification technologies**. Bioresource Technology Vol. 83, p. 55-63, 2002.

MENDES, L, F. **Estudo de pirólise catalítica de biomassa em escala piloto para**

melhoramentoda qualidade do bio-óleo. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia química). UniversidadeFedera do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

MENEZES, E. W.; SILVA, R.; CATALUÑA, R.; ORTEGA, R. J. C. **Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests.** Fuel, v. 85, pp. 815–822, 2006.

MICKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass Bioresource Technoogy,** v.83, n. 1, p. 37-46, 2002.

MISTURA, C. M. et al. **Produção de piroecodiesel com óleos residuais de abatedouro avícola do Município de Marau, RS.** Marau-RS, 2008.

MOHAN, D.; PITTMAN, C. U.; STEELE, P. H. **Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a criticalreview.** Energy & fuels, v. 20, n. 3, p. 848-889, 2006.

MORAES, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimentos para análise lignocelulósica.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

MOREIRA, R. **Estudo da pirólise lenta da casca da castanha de caju.** Dissertação (Mestre emCiências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais). Universidade de São Paulo, São Paulo- SP, 2015.

MORF, P.; HASLER, P.; AUMER, N.; T. **Mechanisms and kinetics of homogeneous secondary reactions of tar from continuous pyrolysis of wood chips.** Fuel vol. 81, p.843-853, 2002.

Mota, P.A.S; **Craqueamento termo-catalítico de óleos vegetais em diferentes escalas de produção.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia). Proderna,ITEC, Belém,2013.

NILSEN, M.H.; ANTONAKOU, E.; BOUZGA, A.; LAPPAS, A.; MATHISEN, K. STOEKER, M. **Micropor. Mesopor.** Mater. p 189-203, 2007.

NOKKOSMAKI, M. I. et a. **Catalytic conversion of biomass pyrolysis vapours with zinc oxide.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, n. 55, n. 1, p. 119-131, 2000.

OASMAA, A. et al. **Fast Pyrolysis Bio-Oils from Wood and Agricultural Residues.**

Energy and Fuels, v. 24, n.2, p. 1380-1388, 2010.

OASMAA, A.; PEACOCK, C.A. **A guide to physical property characterization of bioamass derived fast pyrolysis liquids**. Espoo (FIN): Technical Research Centre of Finland (VTT), 63 p. 2001.

OLAZAR, M. et al. **Pyrolysis of sawdust in a conical spouted-bed reactor with a HZSM-5 catalyst**. AIChE Journal, v. 46, n. 5, p. 125-133, 2000.

OLIVEIRA, M. C. C. R. de. **Degradação termoquímica de lodo residual proveniente da indústria de processamento da soja visando à produção de bio-óleo**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

OVEREND, R.; P. **Thermochemical conversion of biomass**. In: Encyclopedia of life support systems (EOLSS), não paginado, 2004.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PHAN, A.N.; RYU, C.; SHARIFI, V.N.; SWITENBANK, J. **Characterisation of slow pyrolysis products from segregated wastes for energy production**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 81, p. 65-71, 2008.

PROBSTEIN, R.F.; HICKS, R. E. Synthetic Fuels. 1st Edition. New York: **McGraw Hill Book Company**, p.490. 1982.

PUTUN, E. **Catalytic pyrolysis of biomass: Effects of pyrolysis temperature, sweeping gas flow rate and MgO catalyst**. Energy, v.35, n.7, p. 2761-2766, 2010.

QI, Z. et al. **Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research**. Conversion and Management, v. 48, n. 1, p. 87-92, 2007.

R. F.; HUBER, G. W. **Investigation into shape selectivity of zeolite catalysts for**

biomassconversion. Journal of Catalysis, v. 279, n. 2, p. 257-268, 2011.

RAJA A.S.; **Parametric studies on pyrolysis of Jatropha oil cake in fluidized bed reactor.** Chapter 5: Pyrolysis Reactor. Karunya University, 2012. Disponível em: http://shodhganga.inflibnet.ac.in:8080/jspui/bitstream/10603/10119/12/12_chapter5.pdf. Acesso em ,março de 2021.

RAJA, A.S. **Parametric studies on pyrolysis of Jatropha oil cake in fluidized bed reactor.** Chapter 5: Pyrolysis Reactor. Karunya University, 2012. Disponível em: http://shodhganga.inflibnet.ac.in:8080/jspui/bitstream/10603/10119/12/12_chapter5.pdf, acesso em março de 2021.

RINGER, M; PUTSCHE, V; SCAHILL, J. **Large Scalle Pyrolysis Oil Production.** A technologyAssessment and Economic Analysis. Golden (E.U). National Renewable Energy Laboratory. p. 93Relatório Técnico, 2006.

SANCHEZ, M. E. *et al.* **Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge.** Biomass and Bionergy, 33, p 933-940, 2009.

Santos, M.F.V; **Pirólise do óleo de babaçu (Orbygnia phalareta) para a obtenção de hidrocarbonetos renováveis.** Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo PPGCEP). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. UFRN. 2019.

SENSÖZ, S. **Slow pyrolysis of wood barks Pinus brutia Ten and product compositions.** Bioresource Technology, v. 89, p. 307-311, 2003.

SHIE, JL.; LIN, JP.; CHANG, CY.; LEE, DJ.; WU, CH. **Pyrolysis of oil sludge with additives of sodium and potassium compounds.** Resources, Conservation and Recycling. p. 51-64, 2003.

SILVA, Galileu *et al.* **Avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos de um município de pequeno porte mediante os critérios técnicos e ambientais.** GC Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. V. 08, n. 61,2020. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2414/2239. Acesso em: março. 2021.

Silva, M.E. **Obtenção, caracterização e utilização do carvão de serragem como adsorvente para purificação de água.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia

Ambiental),UFT. Palmas:2018.

TSUMISUMI, C. Y. **Saúde em soja**. Teresina: FAPEPI. (FAPEPI, Sapiência. Informativo Científico da FAPEPI, ano II, n. 4, 2005.

VENDERBOSCH, R. H.; PRINS, W. **Review: Fast Pyrolysis Technology Development**. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, v.4, n. 2, p. 178-208, 2010.

VENDERBOSCH, R.H.; PRINS, W. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**. Review: Fast Pyrolysis Technology Development. v.4, n. 2, p. 178-208, 2010.

VITOLO, S. et al. **Catalytic upgrading of pyrolytic oils to fuel over different zeolites**. Fuel,v.78, n. 10, p. 1147-1159, 1999.

WANG, L.; LEI, H.; BU, Q.; REN, S.; WEI, Y.; ZHU, L.; ZHANG, X.; LIU, Y.; YADAVALLI, G.; LEE, J.; CHEN, S.; TANG, J. **Aromatic hydrocarbons production from ex situ catalysis of pyrolysis vapor over Zinc modified ZSM-5 in a packed-bed coupled with microwave pyrolysis reactor**. Fuel, v. 129, p. 78-85, 2014b.

WEYER, M. NORA, D. G. **Resíduos sólidos domésticos: estudo de caso do óleo vegetal residual no bairro Morada da Serra**. Revista Geonorte, v. 6, N. 24, p 62-80, 2015.

WILLIAMS, P. T.; HORNE, P. A. **Influence of catalyst type on the composition of upgradedbiomass pyrolysis oils**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 31, p. 39-61, 1995.

YILDIZ, G.; RONSSE, F.; VAN DUREN, R., PRINS, W. **Challenges in the design and operation of processes for catalytic fast pyrolysis of woody biomass**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 57, p. 1596-1610, 2016.

ZHANG, B., XIONG, S., XIAO, B., YU, D., JIA, X. **Mechanism of wet sewage sludge pyrolysis in a tubular Furnace**. International Journal oh Hydrogen Energy, 36, p.355 – 363, 2011.

ZHANG, L.; XU, C.; CHAMPAGNE, P. **Overview of recent advances in thermo-chemicalconversion of biomass**. Energy Conversion and Management, v. 51, n. 5.2010.