



Instituto Politécnico de Tomar
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DE ABRANTES

Reaproveitamento de óleo queimado através do processo de Pirolise



Dissertação de Mestrado/Projeto

Bruno Miguel Sousa Pisco Pereira, nº 14874

Mestrado em Engenharia Mecânica
Especialidade de Projeto e Produção

Abrantes / Novembro / 2016



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior De Tecnologia De Abrantes

Bruno Miguel Sousa Pisco Pereira, nº 14874

**Reaproveitamento de óleo queimado
através do processo de Pirolise**

Dissertação de Mestrado/Projeto

Orientado por:

Professor Doutor Bruno Chaparro da Escola Superior De Tecnologia De
Abrantes

Dissertação/Projeto apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar para
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau Mestre em
Mestrado de Engenharia Mecânica – Projeto e produção

Resumo

Cada dia existe mais consumo de energia, já ninguém vive sem ela, é um recurso muito importante para todo o mundo. Mas com a escassez dos recursos de petróleo levou a que investigadores conseguissem encontrar combustíveis alternativos. Por outro lado, os óleos queimados colocam em risco o meu ambiente em todo o planeta devido à dificuldade em eliminar este resíduo. É possível dar uma nova vida a este tipo de resíduos através do seu processamento para obter combustível e outros derivados.

Na atualidade, como as fontes de petróleo fóssil têm diminuído, os custos dos combustíveis têm incrementado ano após ano. Isto conduz a que cientistas e investigadores estudem novas alternativas que permitam reciclar e reutilizar os resíduos como fonte de energia.

Muitos estudos revelam que a reutilização dos óleos queimados, que foram provenientes do petróleo podem ser reutilizados para gerar energia, especialmente para os motores a Diesel utilizando a tecnologia de pirólise. A tecnologia de pirólise permite reutilizar óleos usados de forma a poder gerar gasóleo que pode reutilizado mais tarde.

Palavras-chave: Pirólise; Pirólise lenta; Pyrolysis, Slow Pyrolysis, Used oils, Óleo usado; Óleos queimados; Carvão; Char;

Abstract

Increase in energy demand, stringent emission norms and depletion of oil resources have led the researchers to find alternative fuels for internal combustion engines. On the other hand, waste oil pose a very serious environment challenge because of their disposal problems all over the world. In this context, waste oils are currently receiving renewed interest. In recent years, diminishing of fossil fuel sources, growing of demand and cost of petroleum based fuels, and environmental hazards as a result of burning of them have encouraged researchers to investigate possibility of using alternative fuels instead of the fossil fuels. Therefore, the researchers have focused on finding alternative new energy resources and utilizing them. Therefore, scientists and researchers all over the world are now working hard to discover new sources of energy for the future, and also try to develop new technologies that allow recycling or reusing waste material as a source of energy. Many research works addressed the utilization of waste oils that are of lubricating oils originated from crude oil origin waste oils for the case of diesel engine applications as sources of energy. This paper gives a brief review about using waste oil as a fuel for diesel engines with various pyrolysis applications in waste to energy engineering. It can also be established that the pyrolysis process offers an exciting way to recover both the energetic and chemical value of the waste materials by generating potentially useful pyrolysis products suitable for future reuse.

Keywords: Pyrolysis, Slow Pyrolysis, Used oils, Waste oils; Burning oils; Carbon black; Char;

Agradecimentos

A realização deste projeto apenas foi possível com o apoio e motivação incondicional de algumas pessoas, sem as quais este projeto não seria possível executar. Assim, uma enorme gratidão:

Ao Doutor Bruno Chaparro, pela sua disponibilidade e compreensão que manifestou para a coordenar este relatório;

Aos meus pais que me suportaram todo o tempo em que me dediquei ao projeto e a todo o investimento que fizeram para eu poder progredir na minha carreira académica e profissional.

Aos grandes amigos Pedro Gaspar, Daniel Gonçalves, Paulo Leandro, Jorge Ventura, Luís Filipe, Fábio Navalho, Pedro Louro e Carolina Bragança que sempre me incentivaram a não desistir de alcançar os objetivos;

Índice

1. INTRODUÇÃO	8
2. ENQUADRAMENTO	9
2.1. INTRODUÇÃO SOBRE A PIROLISE	9
2.1.1. O QUE É A PIRÓLISE	9
2.1.2. CLASSIFICAÇÃO DA PIROLISE	11
2.1.2.1. PIRÓLISE LENTA	11
2.1.2.2. PIRÓLISE RÁPIDA	11
2.1.2.3. PIRÓLISE FLASH	12
2.1.3. PROCESSO DE PIRÓLISE COM CATALISADORES	12
2.1.4. EFEITO DOS PARÂMETROS DA PIRÓLISE	13
2.1.5. TIPO DE REATORES	14
2.1.6. ENERGIA CONSUMIDA NO PROCESSO DE PIRÓLISE	16
2.1.7. PRODUTOS FINAIS EXTRAÍDOS DO ÓLEO	17
2.1.7.1. ÓLEO-LEVE (COMBUSTÍVEL)	18
2.1.7.1.1. MOTORES A <i>DIESEL</i>	18
2.1.7.1.2. CALDEIRAS	19
2.1.7.2. CARVÃO (<i>CHAR</i>).....	20
3. EQUIPAMENTO INDUSTRIAL DE REAPROVEITAMENTO DE ÓLEO QUEIMADO ATRAVÉS DO PROCESSO DE PIROLISE	21
3.1. FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	21
3.1.1. MATÉRIA-PRIMA APLICADA NO EQUIPAMENTO	21
3.1.1.1. ÓLEO USADO DOS MOTORES	21
3.1.2. FUNCIONAMENTO DO PROCESSO EM LABORATÓRIO	23
3.1.3. FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DO EQUIPAMENTO	27
4. CONCLUSÃO	29
5. BIBLIOGRAFIA	30
REFERÊNCIAS	30
ANEXOS	31

Índice de Figuras e/ou Tabelas

Figura 1 - Planeta Contaminado.....	8
Figura 2 - Ciclos dos Óleos Usados	8
Figura 3 - Processo base da Pirólise.....	10
Figura 4 – Tipo de produtos extraídos do Óleo Usado.....	17
Figura 5 - Áreas aplicadas	18
Figura 6 – motor a <i>diesel</i>	18
Figura 7 - Caldeira	19
Figura 8 – Carvão.....	20
Figura 9 - Tipos de Produtos Extraídos.....	20
Figura 10 - Esquema do Reator de laboratório (1 – Resistência de Aquecimento, 2 – Reator, 3 – Torre destiladora, 4 – Condensador, 5 – reservatório de armazenamento).....	23
Figura 11 - Processo de Filtragem por Vácuo.....	24
Figura 12 - Produto Final	25
Figura 13 - Teste de PH.....	26
Figura 14 - Carvão	26
Figura 15 - Esquema do processo completo (ver anexo X)	27
Figura 16 - Esquema do Processo de Pirólise	28
Tabela 1 – Tipo de processos da Pirólise (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012)	11
Tabela 2 Comparação das propriedades do <i>diesel</i> convencional e o <i>diesel</i> de pirólise (Juhi , Beena, & R, 2013).....	21

Lista de Abreviaturas e/ou Siglas

PTN – Pressão e Temperatura Normais

Wt% - Percentagem de Peso

Lista de Simbolos

% - Percentagem

°C – Grau Celsius

s – Segundo

°C/s – Grau Celsius por segundo

g – Grama

v/v – Volume por volume

C – Carbono

H₂ - Hidrogénio

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

C₂h₂ - Acetileno

C₂h₄ - Etileno

CH₄ - Metano

mm - Milímetros

wt% - Percentagem de peso

kg/m³ – Quilogramas por metro cubico

mm²/s – Milímetros ao quadrado por segundo

ppm - Particulas por milhão

kJ/kg - kiloJoules por quilogramas

% v/v – Percentagem de volume por volume

mg/kg – Miligramas por quilogramas

W - Watts

kW – Quilowatts

1. INTRODUÇÃO

A produção de óleo usado de motores tem cada vez mais toneladas produzidas por ano em todo o mundo, criando um grande problema para a sociedade moderna. Os óleos queimados contêm uma grande quantidade de poluentes, desde hidrocarbonetos aromáticos, entre outros químicos, representando assim uma grande fonte de matéria-prima para produção de combustível. Na maioria dos países, a inceneração e a combustão de energia têm sido aplicadas para a regeneração de energia, apesar de a destilação por vácuo ou o hidrotreatamento serem também estudadas para reciclar este tipo de resíduos.

A tecnologia de Pirólise mostra que pode ser um método viável para reciclar óleos queimados. O material usado é termicamente quebrado e decomposto numa atmosfera inerte, conseguindo-se assim obter a partir dos óleos queimados, químicos e carvão preto. A pirólise de óleo tem uma particularidade de facilitar o transporte e armazenamento do líquido combustível ou químico. Esses óleos poderão ser tratados com uma aplicação de catalisadores, para criar determinados produtos finais ou implementar nas refinarias de petróleo como matéria-prima.



FIGURA 1 - PLANETA CONTAMINADO



FIGURA 2 - CICLOS DOS ÓLEOS USADOS

2. ENQUADRAMENTO

2.1. INTRODUÇÃO SOBRE A PIROLISE

2.1.1. O QUE É A PIROLISE

A Pirólise é um processo térmico que através do aquecimento decompõe uma matéria a altas temperaturas (entre 300 a 1000°C) com a ausência do oxigênio. Este processo tem como objetivo a conversão de resíduos em uma matéria valorizada.

No geral, este processo produz três classes de produtos, como resíduos sólidos de carvão, líquidos constituintes do óleo e gases não condensados. O processo poderá ser otimizado para a máxima produção de qualquer constituinte, alterando os parâmetros, como a temperatura e o tempo de residência do reagente.

A vasta gama de produtos da pirólise deverá ser separada e purificada antes de ser utilizado. A pirólise pode ser aplicada como técnica de reciclagem de matéria-prima para resíduos de hidrocarbonetos. Quando as matérias de resíduos são quebrados quimicamente para a produção de óleos de hidrocarbonetos, gases e carvão.

Este processo é usado particularmente no tratamento de resíduos de alto constituinte de hidrocarbonetos (contendo uma grande mistura de correntes de hidrocarbonetos) pelo que uma grande ligação de hidrocarboneto (>C₅₀) poderá ser termicamente quebrada para ligações mais pequenas (C₁ a C₁₂) que poderá ser usado na petroquímica ou matéria-prima química. Sabendo que este processo necessita de aquecimento, terá de ser feito através de equipamento de aquecimento convencional (elétrico ou gás), como vasos de fusão, altos forno, reatores de leito tubulares ou fixos.

Estes tipos de equipamentos são utilizados de maneira que a energia térmica é aplicada no reator, ao qual aquece a substâncias dentro do reator, claro que a energia não é completamente aplicada no material, tendo assim perdas de energia e eficiência energética. A pirólise tem sido aperfeiçoada utilizando fornos elétricos, reatores aquecidos por resistências elétricas. (Su, et al., 2015)

Estes produtos são de interesse como possíveis fontes de energia alternativa. O óleo leve é resultante de este processo e pode ser utilizado como combustível ou para a produção de químicos e outros produtos de “óleo-base”.

Os mecanismos de pirólise são extremamente complexos, e compreendem uma combinação de mecanismos químicos e físicos, mas podem ser descritos genericamente do seguinte modo:

- **Reações primárias:** Devido à ação térmica, as ligações originais vão-se quebrando, formando radicais livres (são átomos ou moléculas cuja estrutura fica instável).
- **Reações secundárias com quebras de ligações:** Se a pressão do ensaio não for muito elevada, os radicais livres estão diluídos (baixas pressões parciais) e podem entrar novamente no processo da pirolise, até formarem radicais menores, H_2 , CO e CO_2 . Estes radicais podem combinar-se com o H_2 e originar metano, etano, eteno, propano e outros compostos mais longos.
- **Reações secundárias com recombinação:** Se os radicais livres colidirem entre si, podem recombinar-se e formar compostos estáveis de maiores dimensões, podendo originar macromoléculas. (Costa, 2006)

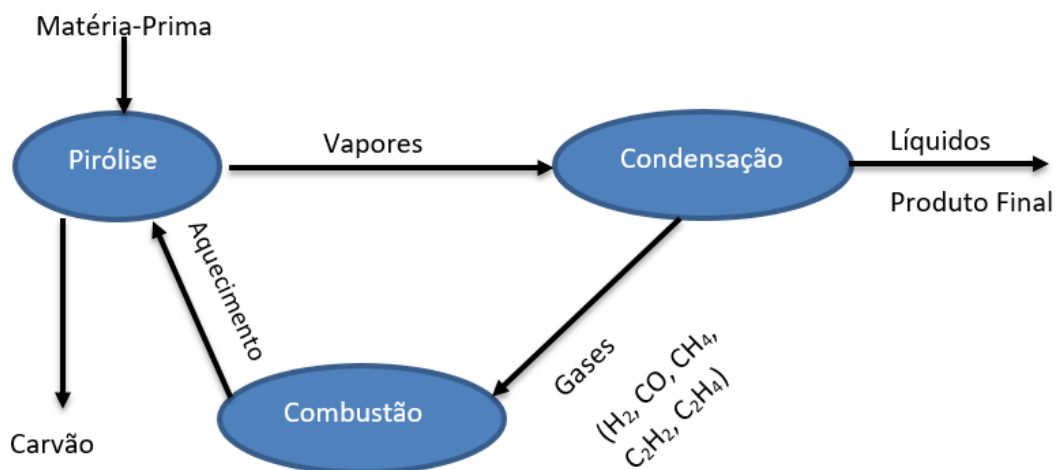


FIGURA 3 - PROCESSO BASE DA PIRÓLISE

2.1.2. CLASSIFICAÇÃO DA PIROLISE

Dentro da pirólise existem várias condições que dependem da operacionalidade do processo, tais que se classificam pelas seguintes: Pirólise lenta, rápida e *flash*. Pois estes diferem na temperatura do processo, na velocidade de aquecimentos, o tempo de residência dos sólidos, tamanho das partículas do material, etc. No entanto a distribuição do produtos é dependente do tipo de operação de pirólise e dos parâmetros: (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012)

TABELA 1 – TIPO DE PROCESSOS DA PIROLISE (MOHAMMAD, MOHAMMAD, ASHFAQUE, & NANJAPPA, 2012)

Processo de Pirólise	Tempo de residência (s)	Taxa de Aquecimento (°C/s)	Tamanho da Partícula (mm)	Temperatura (°C)
Lenta	440—550	Até 2	5—50	350—550
Rápida	0.5—10	10—200	<1	850—1250
Flash	<0.5	>1000	<0.2	1050—1300

2.1.2.1. PIROLISE LENTA

Este processo tem sido usado por milhares de anos, através da produção de carvão em baixas temperaturas e baixas taxas de aquecimento. O tempo de residência de vapor é demasiado elevada (5 a 30 min) e os componentes na fase de vapor continuam a reagir uns com os outros, o que resulta na formação de carvão sólido ou outros líquidos. (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012)

2.1.2.2. PIROLISE RÁPIDA

Neste processo, a matéria é aquecida com mais rapidez, a uma temperatura mais elevada, na ausência do oxigénio. Tipicamente com base no peso, a pirólise rápida produz entre 60% a 75% de produtos oleosos (óleos e outros fluidos) com 15% a 25% de matéria sólida (principalmente carvão) e 10% a 20 % de partes gasosas, dependendo da matéria-prima utilizada. As características básicas do processo da pirólise rápida é a transferência de calor e a taxa de aquecimento, o tempo de permanência do vapor é muito curto, arrefecimento rápido dos vapores e aerossol para a alta produção de óleo e controle de precisão de temperatura de reação. Com este processo tira-se a vantagem de economizar

no transporte e armazenamento, também tem um potencial para fornecer uma série de produtos químicos valiosos e muito maior valor acrescentado que os combustíveis. Tendo em conta que este processo tem um custo de investimento relativamente baixo e que consegue altas eficiências de energia em comparação com os outros processos, principalmente em pequenas escalas. (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012)

2.1.2.3. PIRÓLISE FLASH

Este processo será o mais rápido de todos para a produção de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos a partir da biomassa, que pode atingir até 75% do rendimento de óleo leve. Pode ser caracterizado pela pirólise rápida em uma atmosfera inerte, de alta taxa de aquecimento das partículas, a temperatura de reação elevada, entre os 450°C a 1000°C e de tempo muito reduzido de residência de gás (menos de 1 segundo). Mas este processo tem algumas limitações tecnológicas, como exemplos: baixa estabilidade térmica e corrosão do óleo, sólidos retirados do óleo, aumenta a viscosidade ao longo do tempo pela ação catalítica do carvão, alcalino concentrado no carvão dissolvido no óleo e produção de água pirolítica. (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012)

2.1.3. PROCESSO DE PIRÓLISE COM CATALISADORES

A pirólise catalítica pode melhorar a seletividade dos produtos e reduzir o *input* energético. Na maioria dos estudos sobre pirólise catalítica de resíduos plásticos foram utilizados materiais microporosos, como zeólitos, silíciosos ou óxidos. Estudos afirmam que a adição de catalisador aumenta a conversão e qualidade do combustível. Comparando com a pirólise puramente térmica, a adição de catalisador na pirólise:

- Reduz significativamente a temperatura e tempo de pirólise. Uma redução significativa da temperatura e tempo de reação, sob condições catalíticas, resulta em um aumento das taxas de conversão, a temperaturas bastante menores em relação à pirólise térmica;

- Proporciona melhor controle sobre a distribuição dos produtos (hidrocarbonetos) na pirólise. Enquanto a pirólise térmica origina uma ampla gama de hidrocarbonetos, que vão desde C5 até C28, a seletividade de produtos na gama da gasolina (C5 – C12) ou *diesel* (C14 – C20) é reforçada pela presença de catalisadores.

Os óleos obtidos por pirólise catalítica contêm menos olefinas e mais hidrocarbonetos ramificados e compostos aromáticos;

- Aumenta o rendimento dos produtos gasosos. Com temperatura e tempo de reação similares, observa-se um maior rendimento dos produtos gasosos, na presença de um catalisador. (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012) (Henriques, 2012) (Juhi , Beena, & R, 2013)

2.1.4. EFEITO DOS PARÂMETROS DA PIRÓLISE

- **Tempo de reação:** Maiores tempos de residência favorecem uma conversão secundária dos produtos iniciais, promovendo mais compostos sólidos e compostos termicamente mais estáveis.
- **Temperatura de reação:** O seu aumento favorece a quebra das ligações e produção de moléculas mais pequenas, em condições de gases em pressão e temperatura normal (PTN)
- **Velocidade de aquecimento:** O seu aumento favorece a quebra das ligações e produção de moléculas mais pequenas (gases em PTN)
- **Pressão de operação:** Pressões baixas reduzem a condensação de fragmentos reativos formando mais resíduo carbonoso.
- **Composição química:** Os produtos primários da pirólise estão diretamente relacionados com a estrutura e composição dos reagentes e com o mecanismo de decomposição.
- **Catalisadores:** O seu uso influencia os mecanismos e a cinética das reações.

- **Gases reativos como O₂ e H₂:** A sua presença gera calor internamente através de oxidações parciais, dilui os produtos e influencia equilíbrios, cinéticas e mecanismos
- **Aditivos:** A sua incorporação apenas em casos pontuais influencia a cinética ou os mecanismos reacional, geralmente evaporam ou decompõem-se.
- **Fase (Líquida ou Gasosa):** A pirólise em fase líquida retarda a libertação dos produtos de reação, promovendo a sua interação posterior. (Henriques, 2012)

2.1.5. TIPO DE REATORES

- **Leitos fixos:** Longos tempos de residência e baixas velocidades de aquecimento, com baixo rendimento dos compostos líquidos, favorecendo os compostos sólidos e gasosos. Os gases quebram os resíduos sólidos que vão arrefecendo e elevam o gradiente de temperatura.
- **Leito fluidizado borbulhante:** Simples construção e fácil operação (tecnologia bem conhecida), bom controlo de temperatura e transferência de calor, grandes velocidades de aquecimento, fácil aumento de escala e elevados rendimentos líquidos (entre 70 e 75%). Permite uma flexibilidade no tipo de matéria-prima, largo campo de aplicação, elevada capacidade volumétrica e menor formação de compostos sólidos.
- **Leito fluidizado circulante ou transportado:** Bom controlo de temperatura, tempo de residência do resíduo carbonoso semelhante ao dos gases e vapores, tecnologia bem conhecida, hidrodinâmica mais complexa, o resíduo carbonoso é mais arrastado e apresenta limitações na transferência de calor a elevada escala e na combustão do resíduo no segundo reator.

- **Fluxo por arrastamento:** Alimentação efetuada com pequenas partículas de resíduos sólidos, velocidades de aquecimento superiores aos leitos fluidizados, temperatura de cerca de 900°C e tempos de residência extremamente baixos. Os rendimentos médios do produto final variam entre 30 e 35%, no entanto, devido às dificuldades de transferência de calor, e necessidade de grandes quantidades de gás de arraste, esta tecnologia está a ser abandonada.
- **Pirólise ablativa:** Elevada pressão de partículas nas paredes quentes do reator (até 600°C), devido à força centrífuga, pirolisa partículas de elevado tamanho sem necessidade de gás de arraste. Tem as desvantagens de necessitar de grandes quantidades de calor, o reator ser complexo e o aumento de escala ser caro, devido ao processo ser controlado pela área superficial.
- **Cone rotativo:** A centrifugação provoca a rotação ascendente da areia e da matéria-prima, através de um cone aquecido, apresenta elevadas velocidades de aquecimento de sólidos e reduzidos tempos de residência (0,5s para sólidos, e 0,3s para gases). O resíduo é queimado num reator alternativo, para fornecer a energia de aquecimento da areia de fluidização, que é recirculada para o pirolisador. É um processo com três fases complexas; cone rotativo, leito borbulhante para queima do resíduo e transporte de areia, e tem elevados rendimentos entre 60 a 70%.
- **Reatores sob vácuo:** Em comparação com os leitos acima descritos, a transferência de calor é menor, o tempo de residência é semelhante, pode processar partículas de tamanho superior e o teor do resíduo carbonoso no produto final é menor, mas superior em rendimento. O rendimento líquido situa-se entre 30 e 35% e apresenta uma mecânica complexa. (Henriques, 2012)

2.1.6. ENERGIA CONSUMIDA NO PROCESSO DE PIRÓLISE

No que toca a parte do consumo de energia no processo, este irá necessitar uma grande quantidade de energia térmica para manter as temperaturas adequadas na parede do reator ou no permutador de calor. Também será necessária energia para a circulação da matéria-prima em um tamanho de partícula aceitável. Haverá também um grande consumo nos motores para realizar o trabalho de diferentes etapas, desde vazamento, pressões e potencia nos sistemas de filtração. Portanto a eficiência energética é um ponto importante para medir e identificar o desempenho de um processo de pirólise, no qual poderá exprimir da seguinte forma:

$$\eta_{energia} = \frac{E_{Combustivel}}{E_{MatériaPrima} + E_{Pirólise}} \quad (1)$$

Onde $\eta_{Energia}$ é a eficiência energética do processo, $E_{combustivel}$ é o teor de energia no produto final. Já o $E_{Matéria-Prima}$ é o teor de energia da matéria-prima que irá entrar no processo da pirólise e o $E_{Pirólise}$ é o consumo de energia externo no processo da pirólise. No geral, os três componentes podem ser considerados no cálculo de consumo de energia para a pirólise:

$$E_{Pirólise} = E_{Pré-tratamento} + E_{Alvo} + E_{Reação} \quad (2)$$

Onde $E_{Pré-tratamento}$ será a energia que envolve o tratamento inicial da matéria-prima, E_{Alvo} é a energia usada para aquecer a matéria-prima para levar para o reator do processo de pirólise, o $E_{Reação}$ é a energia consumida para o reator começar a realizar o processo de separação. A energia pode ser fornecida por subprodutos. Poderá ser obtida pela combustão pode ser retirado um ou dois subprodutos, ou todo o gás produzido com uma pequena porção de *char* (carvão). Ao reaproveitar a energia que se produz, automaticamente o processo irá ter mais eficiência. (Mohammad, Mohammad, Ashfaque, & Nanjappa, 2012)

2.1.7. PRODUTOS FINAIS EXTRAÍDOS DO ÓLEO



FIGURA 4 – TIPO DE PRODUTOS EXTRAÍDOS DO ÓLEO USADO

As técnicas de pirólise têm mostrado recentemente que podem ser utilizadas para reaproveitar os resíduos de óleo queimado. A principal vantagem da pirólise será o potencial para recuperar óleos de forma a poder ser gerada energia bem como obter químicos a partir dos resíduos de óleo, gerando também assim produtos secundário também interessantes do ponto de vista económico.

Os óleos e os gases extraídos possuem um alto poder calorífico. Os produtos gasosos têm interesse considerável para a produção de combustível de hidrogénio.

Existem estudos que referem que é possível obter 85 a 92 wt% de óleo, mas normalmente a média está nos 60 a 80 wt%, gases de 10 a 30 wt% e carvão poderá ir de 5 a 20 wt%. Estes valores não são exactos pois tudo dependerá dos parâmetros de escolha do processo (temperaturas, tempos de residências, catalisadores, entre outros...).

Deste processo resultam também metais, alguns tóxicos. Poderão aparecer desde aços, chumbo, cobre, entre outras ligas metálicas, tal que antes do processo de pirólise, será aconselhável realizar uma filtragem para retirar as impurezas. (Su, et al., 2015)

2.1.7.1. ÓLEO-LEVE (COMBUSTÍVEL)

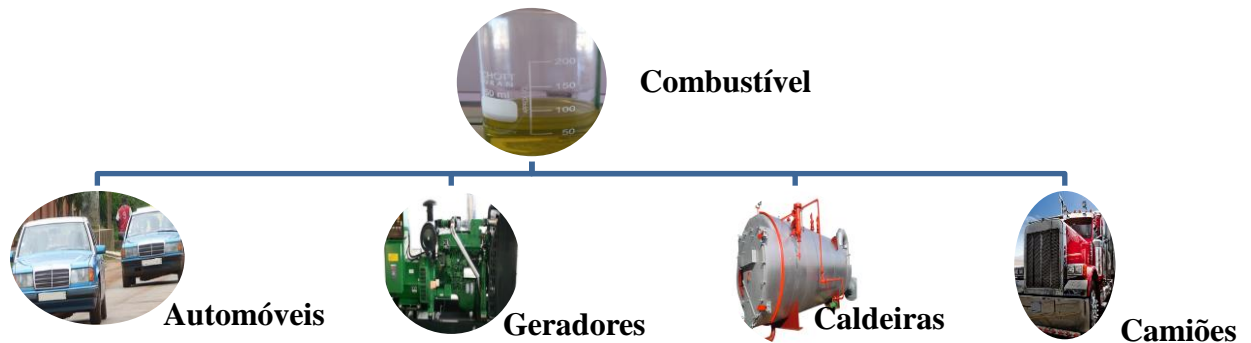


FIGURA 5 - ÁREAS APLICADAS

2.1.7.1.1. MOTORES A DIESEL

Os motores a *diesel* de alta eficiência podem ser adaptados para a geração de energia com combustíveis derivados do óleo queimado. No entanto, alguns problemas podem surgir durante a utilização do combustível nos motores a *diesel*, tais como a criação de resíduos nos pistons e noutros componentes da camara de combustão, dificuldade de funcionamento a frio, desgaste excessivo do motor, má combustão, etc.

No entanto a utilização do combustível ainda não foi generalizada nos motores a *diesel* por causa de dificuldades técnicas, mas será possível ultrapassar esses problemas, não só melhorando o processamento da pirólise, como também na utilização de materiais mais adequados nos componentes do motor. Este tipo de motores já pode ser encontrado em alguns veículos especiais e geradores.



FIGURA 6 – MOTOR A DIESEL

2.1.7.1.2. CALDEIRAS

Caldeira é um equipamento que se destina a gerar vapor através de uma troca térmica. Este equipamento é construído com a finalidade de fazer com que água aqueça e passe do estado líquido para gasoso, aproveitando o calor libertado pelo combustível.

Particularmente durante a revolução industrial a geração de vapor serviu para geração energia, que foi utilizada na melhoria dos processos industriais como também nos sistemas de transportes. O vapor também pode ser utilizado directamente nos processos industriais, como na industria de lacticínios, extrato de tomate, doces, curtumes entre outras. (Militão & Leite, 2008)



FIGURA 7 - CALDEIRA

2.1.7.2. CARVÃO (*CHAR*)

O *Char* é um tipo de carvão produzido a partir do processo de Pirólise, o que permite não só reduzir a presença do dióxido de carbono na atmosfera, como gerar energia. As características físicas são muito afetados pelas condições da pirólise, o tipo de forma do reator e tipo de matéria-prima, o tamanho da partícula da matéria-prima, a ativação química, velocidade de aquecimento, tempo de residência, pressão, taxa de fluxo de gás inerte, entre outros. O carvão consiste principalmente em carbono, juntamente com hidrogénio e várias espécies inorgânicas (Su, et al., 2015).

Este produto poderá ser utilizado em vários setores:



FIGURA 8 – CARVÃO

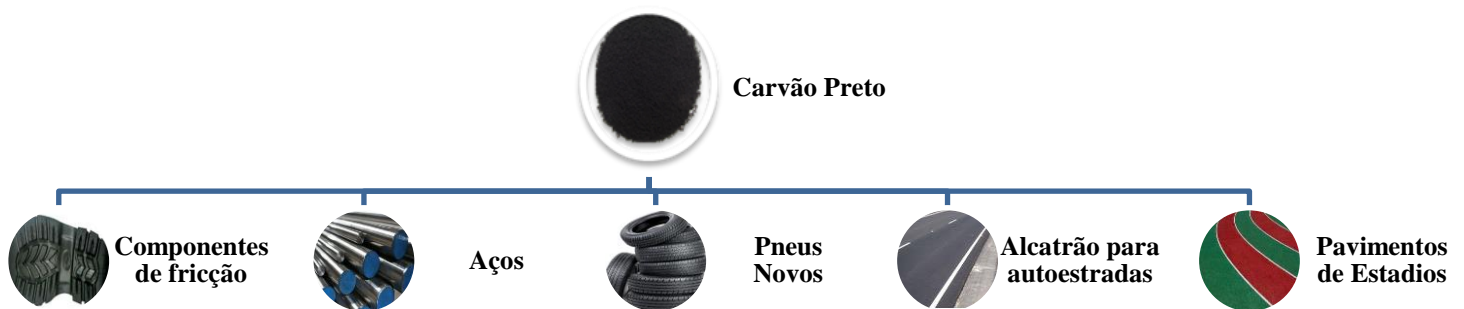


FIGURA 9 - TIPOS DE PRODUTOS EXTRAÍDOS

3. EQUIPAMENTO INDUSTRIAL DE REAPROVEITAMENTO DE ÓLEO QUEIMADO ATRAVÉS DO PROCESSO DE PIROLISE

Este equipamento tem por objectivo de retirar a partir dos resíduos dos óleos destilações leves e conseqüentemente produzir combustível. No entanto retira também os resíduos metálicos, impurezas, nitrogénio, e compostos de enxofre, entre outros. Estes restos serão removidos do produto final após o processo de destilação. A tecnologia utilizada neste equipamento consiste na Pirólise lenta num reator de leito fluidizado borbulhante com apoio de vácuo.

3.1. FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

3.1.1. MATÉRIA-PRIMA APLICADA NO EQUIPAMENTO

3.1.1.1. ÓLEO USADO DOS MOTORES

De forma a poder ser utilizado o combustível (Diesel) em motores de combustão os valores de alguns parâmetros terão de estar dentro de uma determinada gama (ver tabela 2). Estes valores deverão ser equivalentes ao do combustível obtido directamente do petróleo e estar de acordo com as normas estabelecidas. Tal que irá ter em consideração as características físico-químicas:

- Densidade
- Quantidade de Água
- Viscosidade
- Ponto de inflamação
- Quantidade de enxofre
- Entre outros parâmetros (Juhi , Beena, & R, 2013)

TABELA 2 COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO DIESEL CONVENCIONAL E O DIESEL DE PIROLISE (JUHI, BEENA, & R, 2013)

Propriedades	<i>Diesel</i> Convencional	<i>Diesel</i> da Pirólise
Densidade a 15°C (kg/m ³)	820 - 845	818
Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	2 - 4.5	3.49
Ponto de Ebulição (°C)	>55	57
Enxofre (ppm)	50	3500

Água (mg/kg)	<200	130
Baixo valor de aquecimento (kJ/kg)	42.700	42.500
Volume máximo a 250 °C (% v/v)	65	20
Volume mínimo a 250°C (% v/v)	85	90
Máxima temperatura (°C) a 95% de volume	360	360

3.1.2.FUNCIONAMENTO DO PROCESSO EM LABORATÓRIO

Em laboratório foi possível realizar testes de produção de combustível através do processo de pirólise. Tais testes que vieram a aclarar a possibilidade de reaproveitar todos os óleos queimados e reciclá-los para um novo produto com valor acrescentado.

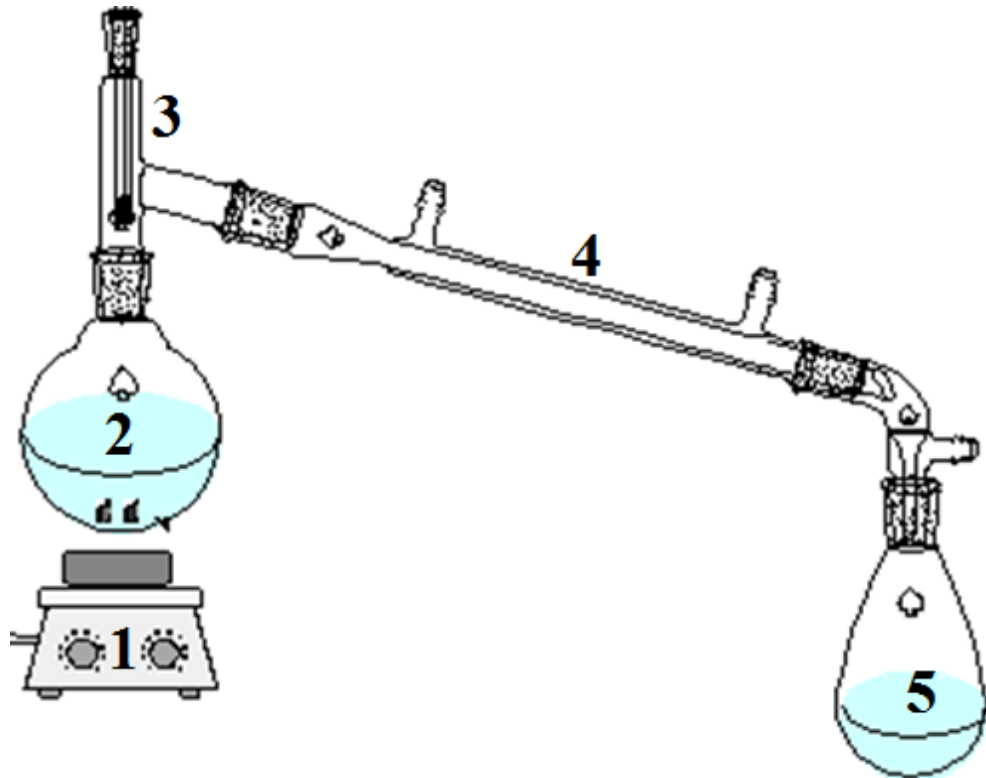


FIGURA 10 - ESQUEMA DO REATOR DE LABORATÓRIO (1 – RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO, 2 – REATOR, 3 – TORRE DESTILADORA, 4 – CONDENSADOR, 5 – RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO)

O processo em laboratório consiste numa torre destiladora com um reservatório para colocar a matéria-prima, o reator com aquecimento (resistência elétrica externa), a torre destiladora com o catalisador inserido, o condensador para estabilizar a temperatura e promover o choque térmico e o reservatório final para recolha do produto final.

Inicialmente foram utilizadas amostras de óleos queimados de motores de automóveis (20W-50). Foram realizados 3 testes de produção pelo processo de pirólise, em que cada amostra continha 200 gramas de óleo usado. Na primeira etapa é efectuado um pré-aquecimento até 120°C através de uma resistência elétrica de 270W e a filtração através de uns filtros de areia, para acelerar a filtração foi utilizado vácuo. Essa filtração foi realizada para retirar as impurezas.



FIGURA 11 - PROCESSO DE

FILTRAGEM POR VÁCUO

De seguida o óleo filtrao foi transferido para o reator. Esta fase é a mais sensível do processo e será aí que se irá realizar toda a transformação dos resíduos. O processo consistiu no aquecimento, através da resistência elétrica de 270W, até os 370 a 400°C. A esta temperatura parte da matéria irá passar para o estado gasoso e deslocar-se em direção à torre destiladora. É utilizado um catalisador para acelerar a reação química. Tanto o reator como a torres destiladora estão isolados com lã rocha com cerca de 10mm de espessura para evitar perdas de calor e assim manter uma elevada eficiência. No condensador o combustível passa do estado gasoso para o estado liquido novamente.

Os resultados de produção foram obtidos da seguinte forma:

Amostra	Quantidade (g)	Tempo de pré-aquecimento até 120°C (min)	Tempo (min) de aquecimento no reator até 380°C	Tempo de produção (min)	Quantidade e de produto final em (ml) ou em (g)	Quantidade de Carvão (g)
1	200	15	35	85	150/130	40
2	200	15	39	80	135/112	45
3	200	15	37	83	145/129	39

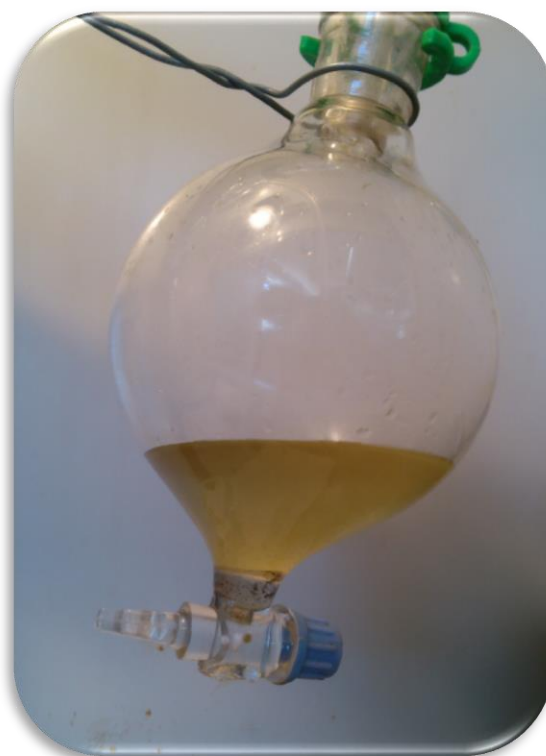


FIGURA 12 - PRODUTO FINAL



FIGURA 13 - TESTE DE PH



FIGURA 14 - CARVÃO

3.1.3.FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DO EQUIPAMENTO

O funcionamento industrial do processo consiste em ter um tanque de recolha de matéria-prima, bombas de trasfega, sistemas de filtragem, bateadeira com pré-aquecimento, o reator com aquecimento por resistência elétrica, a torre destiladora com o catalisador inserido, o condensador para estabilizar a temperatura e dar um choque térmico e o tanque final para recolha do produto final.

A bomba irá realizar a trasfega para o interior dos filtros nos quais irão ser retirados as impurezas. Após esta fase os óleos são transferido para o reator (com uma capacidade de 1 tonelada de óleo queimado) e aí se realizará a transformação dos resíduos em vários produtos e subprodutos. No equipamento industrial o aquecimento será garantido pelas resistências elétricas com uma potência de 50kW. Tal como no processo laboratorial será aquecido até aos 370 a 400°C. Nesta fase irá passar para o estado gasoso e deslocar-se em direção à torre destiladora. Tanto o reator como a torre destiladora estão isolados com lã rocha com cerca de 50mm de espessura de forma a evitar perdas de calor para o exterior e manter uma elevada eficiência.

Chegando assim ao condensador é promovida uma redução drástica de temperatura até aos 60°C o que obriga à condensação do combustível.

No circuito de produção existe um circuito secundário com uma bomba de vácuo para recolher todos os gases que resultam do processo com vista a serem reaproveitados.

A figura 14 apresenta o esquema de produção do óleo queimado até ao produto final e a figura 15 os esquemas mais detalhados da o processo de pirólise.

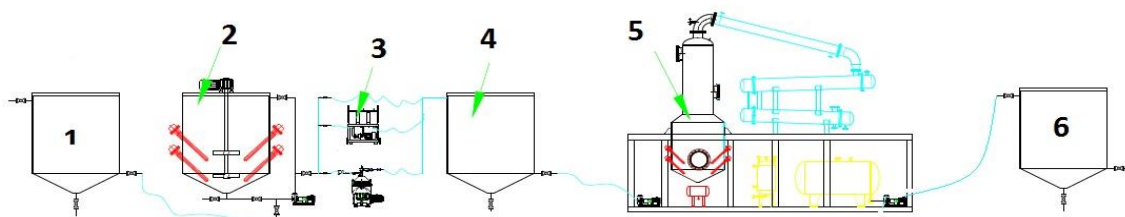


FIGURA 15 - ESQUEMA DO PROCESSO COMPLETO (VER ANEXO I)

4. CONCLUSÃO

O estudo da pirólise de óleos queimado é um tema muito vasto, para ser esgotado apenas num trabalho de índole académica. É um tema em que também não há muita informação disponível. Sendo um tipo de processo recente, haverá muitas inovações e melhoria a realizar a longo prazo.

A nível comercial o processo ainda não está muito explorado, pelo que o conhecimento dos parâmetros do processo, com vista à sua optimização são ainda escassos.

Com vista à utilização sem restrições do combustível são também necessários estudos adicionais de optimização, de rendimento, estabilidade da composição química e os efeitos da utilização nos diversos componentes, entre outros.

Deste trabalho pode concluir-se que o processo de pirólise pode, e deve ser ponderado como meio de reciclar os óleos queimados, gerando desta forma combustível e alguns subprodutos que poderão ter várias utilizações.

Foram efectuadas experiências laboratoriais de forma a testar o sistema. Apesar dos resultados positivos é possível concluir que seria possível facilmente aumentar o rendimento. Mesmo assim o produto final foi possível obter um rendimento de produção de 65%.

O autor gostaria de ter realizado testes de qualidade do produto final e da composição química do mesmo. De forma simples foi efectuado um teste de funcionamento num motor de combustão e funcionou sem problema.

Em conclusão esta tecnologia tem um longo caminho a percorrer, mas pode trazer muitas vantagens para o meio ambiente e abrandar o consumo de petróleo.

5. BIBLIOGRAFIA

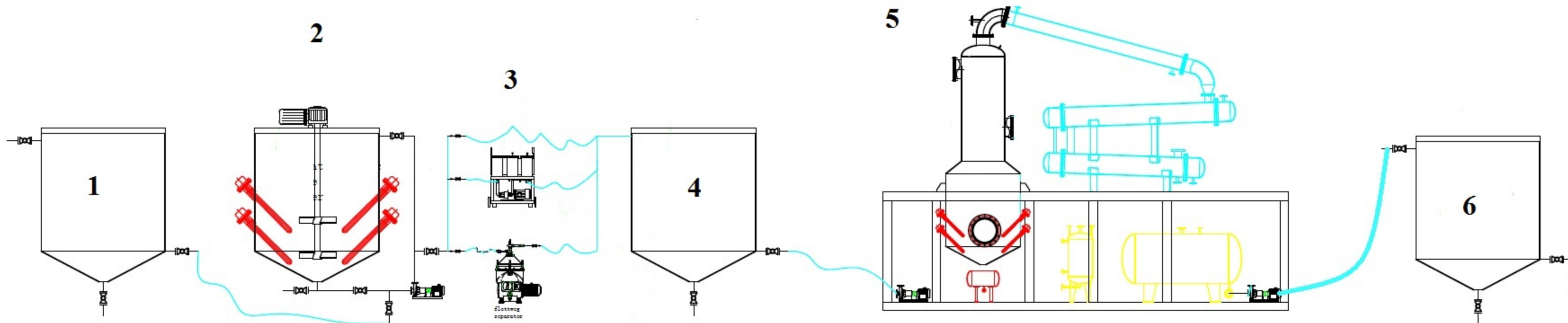
REFERÊNCIAS

- Costa, P. (2006). Produção de Hidrocarbonetos Líquidos e Gasosos por Pirólise de Resíduos Plásticos. *Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Química, Especialidade de Engenharia da Reação Química pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia*. Lisboa.
- Henriques, A. J. (Setembro de 2012). Produção de Combustíveis Líquidos por Pirólise de Mistura de Resíduos Plásticos e Óleos Vegetais, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Bioenergia, Da Universidade de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.
- Juhi , S., Beena, M., & R, B. S. (Junho de 2013). Production of gasoline-like fuel obtained from waste lubrication oil and its physicochemical properties.
- K., N., & A., L. (Fevereiro de 2013). Waste oils as alternative fuel for diesel engine. *A Review, Vol. 4(3)*, pp. 30-43,. Algeria: Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels , . Obtido de <http://www.academicjournals.org/JPTAF>
- Militão, R. d., & Leite, N. R. (Setembro de 2008). Tipo e Aplicações de Caldeiras. Escola Politécnica- Depto. de Engenharia Mecânica da EPUSP-PROMINP.
- Mohammad, I. J., Mohammad, G. R., Ashfaq, A. C., & Nanjappa, A. (Novembro de 2012). Biofuels Production through Biomass Pyrolysis.
- Su, S. L., Rock Keey Liewa, Ahmad, J., Cheng, T. C., Farid, N. A., & Howard, A. C. (2015). Progress in waste oil to sustainable energy, with emphasis. *ELSERVIER*, www.elsevier.com/locate/rser.

ANEXOS

ANEXO I – Esquema do processo completo

ANEXO II – Esquema do Processo de Pirólise



Legenda:

1 - Tanque de Recolha de óleo usado

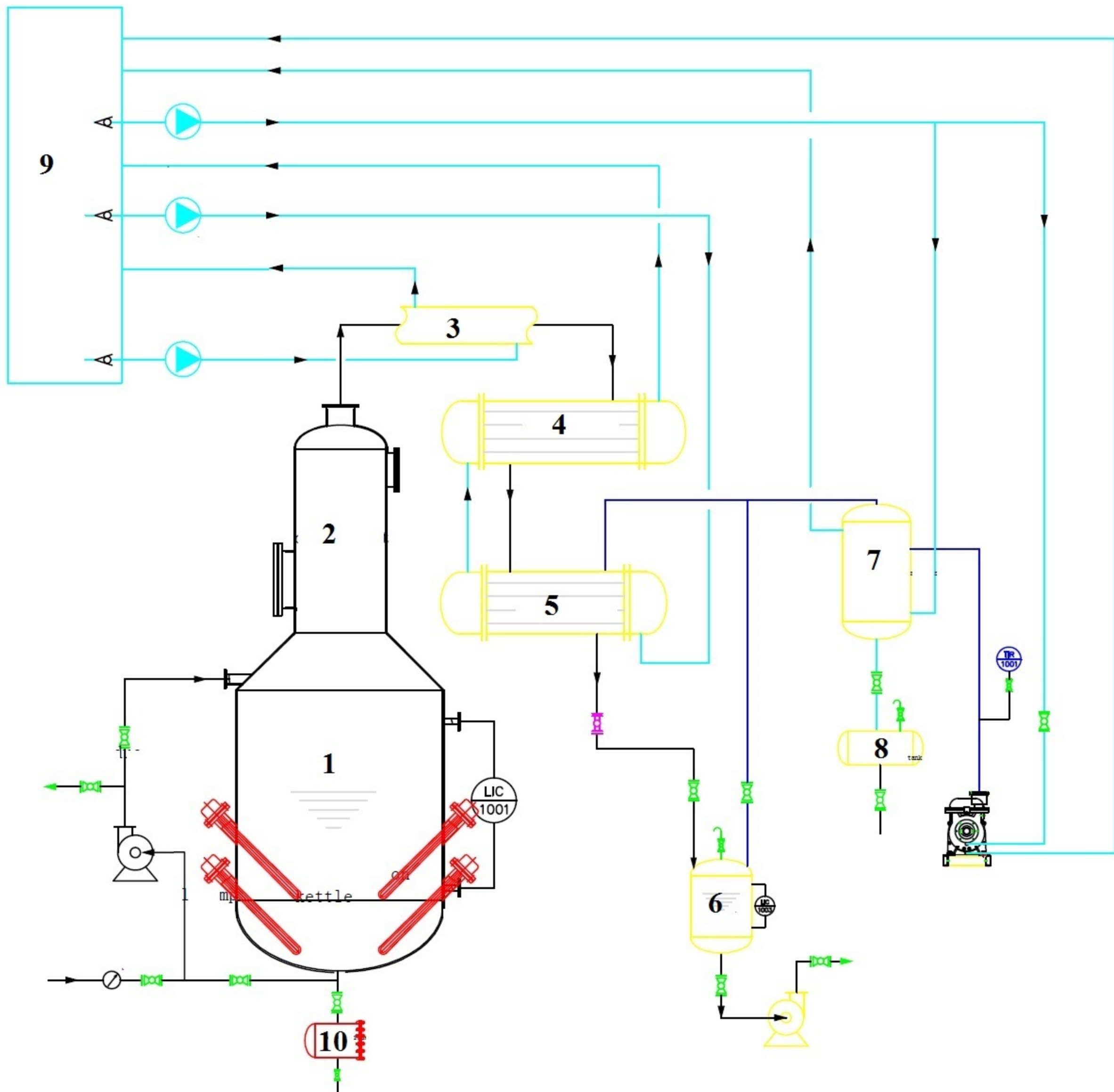
2 - Tanque de batelada para remoção de água e impurezas

3 - Precesso de Filtragem

4 - Tanque de óleo após filtrado e sem impurezas

5 - Processo de produção por Pirólise

6 - Tanque re recolha do produto final



- Legenda:
- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1 - Reator de Pirólise | 6 - Reservatório de recolha do produto acabado |
| 2 - Torre Destiladora com catalisador | 7 - Reservatório do sistema de vácuo |
| 3 - Pré-Condensador | 8 - Reservatório de recolha de água do sistema de vácuo |
| 4 - Condensador Primário | 9 - Tanque de água para o uso dos condensadores |
| 5 - Condensador Secundário | 10 - Tanque de recolha de resíduos |