



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JOANA ANGÉLICA FRANCO OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS POR
PIRÓLISE TÉRMICA USANDO ÓLEO DE *MORINGA*
OLEÍFERA LAM

JOÃO PESSOA- PARAÍBA

2021

JOANA ANGÉLICA FRANCO OLIVEIRA

**PRODUÇÃO DE HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS POR
PIRÓLISE TÉRMICA USANDO ÓLEO DE *MORINGA*
*OLEÍFERA LAM***

Trabalho Final de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba – UFPB,
como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a Dr^a Sharline Florentino
de Melo Santos.

JOÃO PESSOA- PARAÍBA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder coragem, força e saúde para seguir em frente no caminho que me trouxe até aqui.

A minha família por todo incentivo e acreditarem no meu potencial, agradeço imensamente pelo apoio emocional e compreensão nos momentos que estive ausente.

A Grazielle pelo companheirismo, compreensão e auxílio nessa jornada que não foi fácil, mas se tornou mais leve porque você estava aqui.

Às minhas orientadoras, professora Sharline por abraçar as ideias malucas que tínhamos, pela confiança e por ser um porto seguro nos momentos difíceis. A professora Nataly pela confiança, por ter sido minha orientadora durante todo período de graduação e contribuir para minha formação.

A Escola Piloto de Engenharia da UFPB e a todos que fazem parte dela pelo crescimento, estresse e risadas que tivemos.

A Rafaelle, por sempre fazer o possível para nos auxiliar na coordenação procurando as melhores soluções mesmo quando outros não fizeram.

As pessoas que encontrei pelo caminho que me ensinaram coisas novas e aos que também compartilhei conhecimento.

“Senhor, se algo inesperado acontecer e tivermos que soltar as mãos uns dos outros, por favor não deixe a tristeza oprimir as vidas daqueles que ficaram para trás. Mesmo que as lágrimas que derramamos encham até o queixo, por favor não nos deixe afogar e nos dê força e coragem para nadar com segurança ao longo da vida. ”- Kim Myeong Hee

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

O48p Oliveira, Joana Angelica Franco.
PRODUÇÃO DE HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS POR PIRÓLISE
TÉRMICA USANDO ÓLEO DE MORINGA OLEÍFERA LAM / Joana
Angelica Franco Oliveira. - João Pessoa, 2021.
35 f. : il.

Orientação: Prof^a Dr^a Sharline Florentino de Melo
Santos Santos.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Hidrocarbonetos Renováveis. 2. Pirólise Térmica. 3.
Moringa Olieifera Lam. I. Santos, Prof^a Dr^a Sharline
Florentino de Melo Santos. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 691

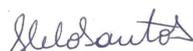
JOANA ANGÉLICA FRANCO OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS POR PIRÓLISE TÉRMICA
USANDO ÓLEO DE *MORINGA OLEÍFERA LAM*

Trabalho Final de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Trabalho aprovado em:

BANCA EXAMINADORA



Profª Drª Sharline Florentino de Melo Santos. (DEQ/ CT/ UFPB)
(Orientador e presidente da banca)



Profª Drª Nataly Albuquerque dos Santos. (DTA/ CTDR/ UFPB)
(Examinador)



Me. Romário Cardoso Leal (DQ/ CCEN/ UFPB)
(Examinador)

RESUMO

A Moringa Oleífera *Lam* é uma planta arbórea com desenvolvimento acelerado e que apresenta boa adaptação em solos pobres e não exige cuidados especiais no cultivo. O presente trabalho tem como finalidade investigar o potencial da moringa oleífera *lam* na produção de hidrocarbonetos renováveis via pirólise rápida, tendo em vista as preocupações com as mudanças climáticas e o desenvolvimento econômico predatório. Por ser uma planta que não faz parte da alimentação humana, pode ser considerada uma matéria-prima promissora para o mercado energético, pois não há concorrência com a indústria de alimentos. Foram realizadas caracterizações físico-químicas do óleo de moringa para determinar suas propriedades e composição de ácidos graxos. Em seguida o óleo foi submetido ao processo de pirólise rápida a fim de produzir hidrocarbonetos renováveis que possam ser usados como biocombustíveis. A realização dessa pesquisa se faz importante, pois há um movimento histórico que busca um meio de desenvolvimento que seja sustentável à vida humana e ao meio ambiente. Tal pensamento exige esforços de universidades e empresas que desenvolvam tecnologias que correspondam a essas demandas e se tratando de combustíveis renováveis se faz necessário que se haja um acervo de matérias-primas e tecnologias que possam ser usadas para esses fins. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a moringa oleífera tem um grande potencial para a produção sustentável de hidrocarbonetos de origem renovável.

Palavras-chave: Óleo de Moringa, hidrocarbonetos renováveis, pirólise rápida.

SUMÁRIO

1- CAPÍTULO I-----	10
1.1- INTRODUÇÃO-----	10
1.2- OBJETIVO GERAL-----	14
1.2-1. Objetivos Específicos -----	14
2- CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA-----	14
2.1- HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS NA AVIAÇÃO CIVIL-----	14
2.2- CULTIVO E CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE MORINGA-----	15
1.3- 2.3- PIRÓLISE-----	16
2.3-1. Processo de Pirólise Térmica-----	17
2.3-2. Reator Pirolítico Não Catalítico de Leito Fixo-----	18
3- CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS -----	18
3.1- COLETA-----	18
3.2- EXTRAÇÃO-----	19
3.2-1. Extração por Soxhlet -----	19
3.2-2. Extração por Prensa Hidráulica-----	21
3.3- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA-----	22
3.3-1. Densidade -----	22
3.3-2. Viscosidade Cinemática-----	22
3.3-3. Índice de Acidez -----	22
3.3-4. Análise de Cor-----	23
3.3-5. Composição de Ácidos Graxos Por Cromatografia Gasosa-----	23
3.3-6. Determinação da Massa Molar Aproximada do Óleo de Moringa-----	24
3.3-7. Estabilidade Oxidativa-----	24
3.4- PIRÓLISE DO ÓLEO DE MORINGA-----	24
4- CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	25
4.1- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE MORINGA-----	25
4.1-1. Extração-----	25
4.1-2. Densidade-----	26
4.1-3. Índice de Acidez-----	26

4.1-4. Viscosidade Cinemática e Análise de Cor-----	26
4.1-5. Composição de Ácidos Graxos-----	27
4.1-6. Estabilidade Oxidativa-----	28
4.1-7. Determinação da Massa Molar do Óleo de Moringa-----	28
4.2- PERFIL DOS COMPONENTES DO BIO-ÓLEO OBTIDO POR PIRÓLISE RÁPIDA-----	29
5- CAPÍTULO V: CONCLUSÃO-----	33
6- REFERÊNCIAS-----	34

1. CAPÍTULO I:

1.1. INTRODUÇÃO

Dentre todas as fontes naturais para a produção de combustíveis líquidos (gasolina, diesel, querosene) o gás natural e o petróleo se destacam como fonte primária para obtenção desses componentes.

A era industrial do século XX construiu uma sociedade pautada no consumo de derivados de petróleo, que proporcionou grandes avanços em diversas áreas de conhecimento, desde a indústria energética à indústria farmacêutica.

A exploração e consumo de matérias-primas de origem fóssil, como petróleo, gás natural e carvão mineral cresceram exponencialmente e não houve uma preocupação dos possíveis impactos ambientais e sociais gerados ao meio ambiente e as gerações futuras.

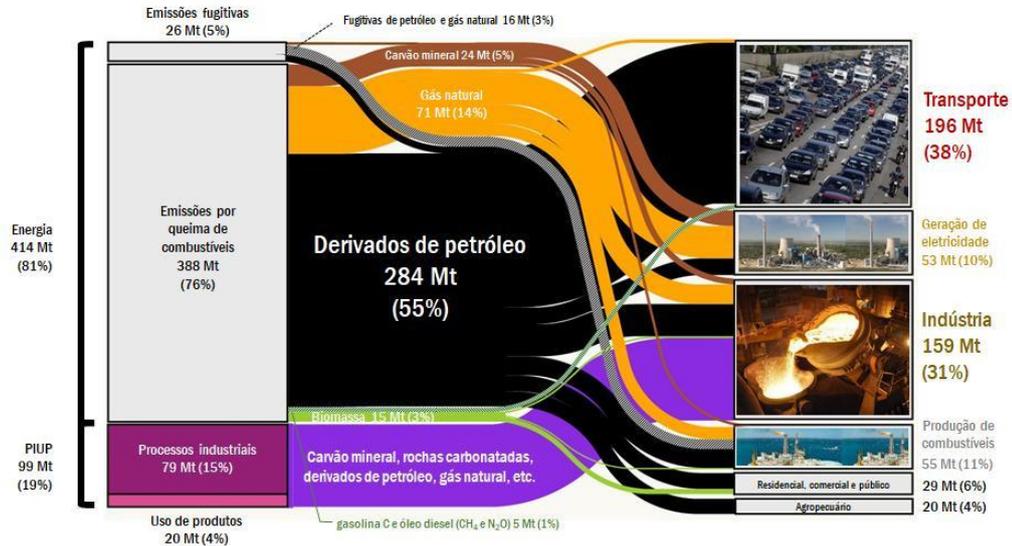
Com a virada do século (séc. XX para séc. XXI) passou-se a questionar o estilo de consumo predatório da sociedade, principalmente nos setores que contribuem significativamente com a emissão de gases de efeito estufa para atmosfera, dentre o setor de transporte.

Criando um recorde no cenário brasileiro, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) publicou em dezembro de 2020 um relatório das emissões de gases de efeito estufa por setor no país. O relatório aponta que no ano de 2019 o Brasil atingiu 2,2 bilhões de toneladas em emissões de gases de efeito estufa (GEE), nesse cenário o setor de energia foi responsável por 19% das emissões.

São contabilizadas no setor energético as emissões causadas pela produção e uso de combustíveis, sendo o Brasil dependente do transporte de carga rodoviária há uma grande dependência do uso de combustíveis, principalmente de origem fóssil.

Da esquerda para direita o gráfico de Diagrama de Sankey (figura 1) mostra as emissões de GEE em megatonelada por setor produtivo em 2019, mostra que 388 Mt de CO₂ foram emitidas pela queima de combustível e 55% dessas emissões são de combustíveis de origem fóssil.

Figura 1: Emissões de Energia e Processos Industriais no ano de 2019 segundo fontes e atividades geradoras



Fonte: IEMA, 2020

O gráfico a seguir (figura 2), destaca uma séria história entre 1970 e 2019 das emissões de GEE, sendo o setor de transporte o responsável majoritário pelo aumento das emissões ao longo das décadas subsequentes a 1970, o que corresponde com o aumento da malha rodoviária nacional visando principalmente o transporte de cargas de exportação e consumo interno.

Figura 2: Emissões nas Atividades do Setor de Energia (1970-2019)



Fonte: IEMA, 2020

Sabendo as atividades de transportes são as que mais poluem no setor energético o acompanhamento e identificação dos gargalos do processo se faz necessário para a construção de políticas públicas que visam a redução dos impactos ambientais gerados, sendo estes refletidos não só na degradação ambiental, mas também na qualidade da vida humana, principalmente em grandes centros urbanos.

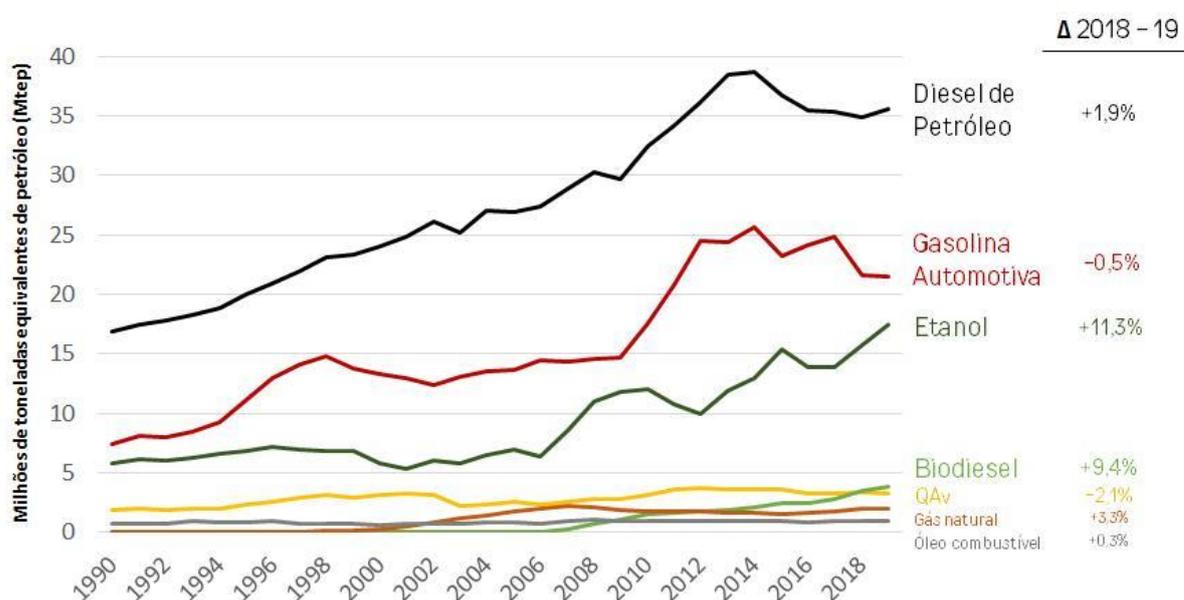
É sabido que o uso de combustíveis de origem renovável, biocombustíveis, têm um papel de destaque na mudança para uma matriz energética mais limpa, é conhecido também a eficiência e rotas consolidadas de produção de biodiesel e bioetanol como substitutos do diesel e gasolina de petróleo, respectivamente.

O Brasil por apresentar vasta extensão territorial e diversidade de flora, tem grande potencial para o mercado de biocombustíveis, buscando matérias-primas que se adequem a realidade de cada região, deslocando dependência das refinarias de petróleo sediadas em sua maioria no sudeste do país, o que encarece o produto final para as demais regiões.

São inúmeros os esforços no desenvolvimento de novas tecnologias que possam suprir a demanda do crescimento humano e que tenham o menor impacto possível ao meio ambiente. Para auxiliar na transição de comportamento, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 diretrizes para se construir um desenvolvimento sustentável, dentre elas o objetivo 7 (energia limpa e acessível) que tem como uma das metas aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global até 2030.

Para que se alcance esse objetivo é essencial a ampliação do uso de biocombustíveis, assim como a indústria automotiva, a indústria da aviação civil busca alternativas para alcançar as metas de redução de emissão do setor. O gráfico abaixo mostra o consumo em milhões de toneladas de combustível por tipo entre as décadas de 1990 e 2019.

Figura 3: Consumo de Combustíveis nos Transportes (1990-2019)



Fonte: Balanço Energético Nacional, (MME 2020)

Além do comportamento do consumo de combustíveis na figura 3, os dados do Ministério de Minas e Energia (MME), mostra que apesar da taxa de crescimento do biodiesel entre o intervalo de 2018-2019 ser expressivamente maior que a taxa de crescimento do diesel, há um longo caminho para que se consiga igualar e/ou substituir o diesel de petróleo.

Mesmo com um consumo abaixo das 5 Mt equivalente de petróleo, o setor aéreo é responsável por 5% das emissões (10 Mt) de acordo com o relatório do IMEA (2020). Se as emissões de GEE da aviação civil fossem contabilizadas em país, este seria na lista das 10 nações que mais contribuem para o aumento dos gases de efeito estufa (IDESAM, 2018).

Para alcançar os objetivos do setor, redução das emissões de GEE até 2050, a aviação civil internacional explora dois principais campos, sendo eles, as características da indústria (fabricação das aeronaves) e as características físicas (potência das aeronaves).

Dentre as características supracitadas a física é a que apresenta maiores dificuldades no desenvolvimento de novas tecnologias, pois os novos combustíveis precisam ter qualidades físico-químicas semelhantes ou superiores (combustíveis Drop-in) ao querosene de aviação (QAV), oferecendo potência necessária para que as aeronaves se mantenham em voo.

Certamente o uso de hidrocarbonetos renováveis desempenha um importante papel nessa empreitada, porém as rotas certificadas atualmente apresentam um custo elevado de produção e as matérias-primas testadas são limitadas. Tendo essa afirmação como ponto de partida, esse trabalho se faz necessário para investigação de novas tecnologias e matérias-primas que podem ser usadas para produção de hidrocarbonetos renováveis aproveitáveis na aviação civil.

1.2.OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de pirólise rápida na conversão de hidrocarbonetos usando o óleo de moringa oleífera como matéria prima.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Obter o óleo de moringa e realizar as caracterizações físico-químicas;
- Identificar o perfil de ácidos graxos do óleo;
- Avaliar o processo de pirólise rápida do óleo na obtenção de hidrocarbonetos renováveis.

2. CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS NA AVIAÇÃO CIVIL

Segundo Cruz *et al* (2017) são definidos como hidrocarbonetos renováveis os combustíveis que possuam e sua composição hidrocarbonetos de 10 a 20 átomos de carbonos que tenham biomassa como origem que sejam isentos de oxigênio.

Visando a utilização desse combustível na aviação civil a American Society for Testing and Materials (ASTM) adota critérios rigorosos para a aceitação de misturas de biocombustíveis com o querosene de aviação (QAV) de origem fóssil. Estes critérios procuram garantir a qualidade do combustível antes e depois da mistura com o QAV, para que não haja necessidade de nenhuma alteração nos equipamentos e sejam atendidos os mesmos parâmetros de segurança na utilização em aeronaves comerciais de grande porte.

A ASTM estabeleceu que possam ser misturados ao querosene de aviação em até 50% em volume: SPK hidroprocessado por Fischer-Tropsch); SPK de ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA - hydroprocessed esters and fatty acids) e a um volume de 10% em

pode ser misturado ao querosene de aviação: SIP (synthesized iso paraffinic), chamado de querosene isoparafina.

Para além dos critérios técnicos da ASTM, o candidato a combustível aeronáutico deve atender simultaneamente as especificações da Organização Internacional da Aviação civil (ICAO), que tem como pilar a sustentabilidade do combustível sendo os dois principais

- 1) Os combustíveis devem atingir reduções líquidas de emissão de GEE de pelo menos 10% em comparação com o combustível de aviação padrão;
- 2) Os combustíveis não devem ser produzidos a partir de fontes de biomassa de terras com alto estoque de carbono. (ICAO, 2019a)

O segundo critério da ICAO é uma medida de proteção para que as alternativas de combustíveis renováveis, convencionalmente chamada de bioquerosene (BQAV) não seja oriunda de fontes que aumentem a emissão de CO₂ durante o ciclo de produção, principalmente pelo mau uso da terra.

Dentre as matérias-primas promissoras estão a macaúba, cana energia, pinhão manso, dendê, licurí, catolé, óleos e gorduras residuais (OGR), pensando em alternativas a longo prazo a utilização de resíduos é um caminho promissor.

2.2. Cultivo e Características do Óleo de Moringa

A moringa oleífera *Lam* pertence à família da *moringaceae* que possui 13 espécies conhecidas, é considerada uma árvore exótica com cultivo perene que é originária do nordeste da Índia e se estende a países da Ásia e África.

Seu cultivo pode ser realizado em zonas áridas e semiáridas que apresentam resistência a seca e se desenvolve com índices pluviométricos entre 250 a 3000 mm e em altitudes inferiores a 600 m, o que justifica a difusão desta árvore no nordeste brasileiro.

De acordo com Pereira *et al* (2016) a semente da moringa oleífera apresenta um teor de 35% óleo, o que torna vantajosa a sua utilização no setor energético, tendo em vista que a soja, o carro chefe no Brasil na produção de bioenergia, apresenta um teor de óleo de 21% (EMBRAPA 2015).

A árvore pode alcançar de 5 a 10 metros de altura, as flores e frutos são gerados com 1 ano de cultivo. Os frutos (as sementes) se desenvolvem em vagens que têm coloração verde e passam para uma coloração marrom escuro na fase de maturação (ALMEIDA, 2015)

O óleo de moringa varia sua composição físico-química de acordo com a região que são cultivadas e qualidade do solo. Diferentes autores analisaram as características do óleo de diferentes regiões do globo, Anwar et al (2005) constataram em seus estudos que o teor de óleo pode variar entre (33,23-40,90%), óleo apresentou grandes concentrações de ácido oleico (até 78,59%), 7 % de ácido palmítico, 7,5% de esteárico, 5,99% behênico e 4,21% de ácido araquídico. A densidade no estudo a 24 °C foi de 0,9057 g/mL e o índice de acidez 0,79 mg KOH/g (ANWAR e BHANGER, 2003).

A vantagem do uso da moringa no setor energético é a sua não competitividade com a indústria alimentícia, pois o óleo não é destinado para consumo humano, e por ser uma espécie que tem bom desenvolvimento em solos com baixo teor de nutrientes, pode ser cultivada em áreas degradadas ajudando na recuperação do solo.

Além do mais a semente de moringa tem grande potencial para tratamento de efluentes, mesmo após a retirada do óleo o farelo pode ser usado como biocoagulante devido a presença de uma proteína floculante, que pode remover em média 95% de sólidos em suspensão e reduzir a demanda química de oxigênio (DQO) em 52,2%. (ALMEIDA, 2015)

2.3. PIRÓLISE

A pirólise é definida como um processo térmico de conversão da matéria orgânica na ausência de oxigênio, que industrialmente pode ser classificada em três tipos, pirólise lenta, rápida e flash que se diferem tanto no tempo do processo quanto no produto majoritário final obtido.

Nesse sentido, a pirólise é um processo endotérmico que precisa de uma fonte de energia (calor) para seu desenvolvimento, transformando a biomassa em três frações sendo elas: sólida, gasosa e líquida (considerando também os gases condensáveis da fração gasosa) (LORA 2012).

A matriz sólida formada consiste principalmente de carvão (*char*), a fase gasosa pode ser dividida em vapores não condensáveis (CO₂, CO, CH₄ e H₂) e vapores condensáveis que são adicionados a fase líquida. Como na gasosa, a fase líquida é subdividida em duas fases: uma aquosa (ácida) e uma orgânica que é a fase de interesse na pirólise rápida (SANTOS, 2011).

A fração orgânica líquida também chamada de óleo pirolítico ou bio-óleo que é uma mistura complexa de compostos alifáticos oxigenados e aromáticos, de um modo geral o bio-óleo é um conjunto de hidrocarbonetos com diferentes estruturas que possuem um importante

potencial energético que podem ser aproveitados em câmaras de combustão como, motores a diesel e turbinas aeronáuticas (CHIARAMONTI *et al* 2007 apud LORA, 2012).

A tabela 1 exemplifica as condições ideais para maximizar a produção da fase de maior interesse. Para cada estado do produto final as variáveis de controle na pirólise são, tempo de residência, velocidade do gás de arraste, temperatura e quando alimentado com material sólido o tamanho de partícula passa a ser uma variável de controle (GONÇALVES, 2007). Para produção de bio-óleo indica-se a pirólise flash-líquido, pirólise a vácuo, hidropirólise e pirólise rápida, a qual foi utilizada e discutida neste trabalho.

Tabela 1: Métodos de Pirólise e Suas Variantes: Rendimentos dos Produtos Típicos Obtidos Por Meio de Diferentes Formas de Pirólise de Biomassa (Base Seca)

Tecnologia de Pirólise	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	T [°C]	Produtos	Bio-óleo	Carvão	Gás
Carbonização	Dias	Muito baixa	400	Carvão	30%	35%	35%
Convencional	5-30 min	Baixa	600	Bio-óleo, gás, finos de carvão	-	-	-
Pirólise Rápida	0,5-5 s	Muito alta	650	Bio-óleo	75%	12%	13%
Flash-líquido	<1 s	Alta	<650	Bio-óleo			
Gaseificação	<1 s	Alta	600-900	Químicos e gás	5%	10%	85%
Ultra-Gaseificação	<0,5 s	Muito alta	1000	Químicos e gás	-	-	-
Pirólise a Vácuo	2-30 s	Média	400	Bio-óleo	-	-	-
Hidro-Pirólise	<10 s	Alta	<500	Bio-óleo	-	-	-
Metano-pirólise	<10 s	Alta	>700	Químicos	-	-	-

Fonte: Bridgewater 2003

2.3.1. Processo de Pirólise Térmica

Quando se visa a produção do bio-óleo a pirólise rápida é a tecnologia mais atrativa, que ocorra degradação térmica a matéria-prima é colocada em um reator com elevada taxa de aquecimento, uma temperatura média de 650 °C e um tempo de residência curta, com um tempo de residência entre 0,5-5 segundos. A rápida passagem no reator tem o objetivo de minimizar as reações secundárias entre os voláteis o que diminuiria o rendimento do bio-óleo.

De modo geral o processo pirolítico pode ser exemplificado nas etapas que se seguem:

- 1- O óleo vegetal, em contato com gás de arraste aquecido, passa por um processo de transferência de calor no qual é gerado um gradiente de temperatura partindo da superfície do óleo ao interior do recipiente (barca) que comporta a amostra.
- 2- Quando a amostra atinge a temperatura de vaporização dos voláteis presentes, por difusão cria-se um gradiente de concentração de voláteis e conseqüentemente um fluxo dessas componentes partindo da superfície do líquido, devido as menores forças de interação entre as moléculas nessa região, para o seio da fase fluida.
- 3- Por convecção os voláteis são transferidos para o gás de arraste.

Durante o processo de migração dos voláteis podem ocorrer reações de isomerização, condensação, polimerização, dentre outras, que podem transformar as moléculas gaseificadas em carvão pirolítico. Sendo assim o baixo tempo de residência visa evitar que tais reações levem a formação de carvão (SANTOS, 2011).

O bio-óleo obtido nesse processo é altamente oxigenado e possui um interessante poder energético, para utilização desse produto são necessárias operações subseqüentes (*Upgrading*) de refino para reduzir a razão C/H e quantidade de oxigênio para obter produtos mais estáveis quimicamente, menos corrosivos e homogêneos. Para uso combustível do bio-óleo os processos de melhoramento mais utilizados são as reações de hidroxigenação, craqueamento com zeólitas e reforma a vapor (ALMEIDA, 2008).

2.3.2. Reator Pirolítico Não Catalítico de Leito Fixo

Os reatores para conversão pirolítica foram e são constantemente objetos de estudos para otimizar o processo de transformação da biomassa em bio-óleo. Os tipos de reatores mais utilizados são de leito fixo, leito fluidizado (borbulhante ou circulante), cone rotativo e pirolisador ablativo.

Sendo a alimentação neste estudo de óleo vegetal, o tipo de reator escolhido foi de leito fixo, onde a amostra ficará condicionada em uma barca coletora no interior do reator com geometria cilíndrica horizontal ou vertical

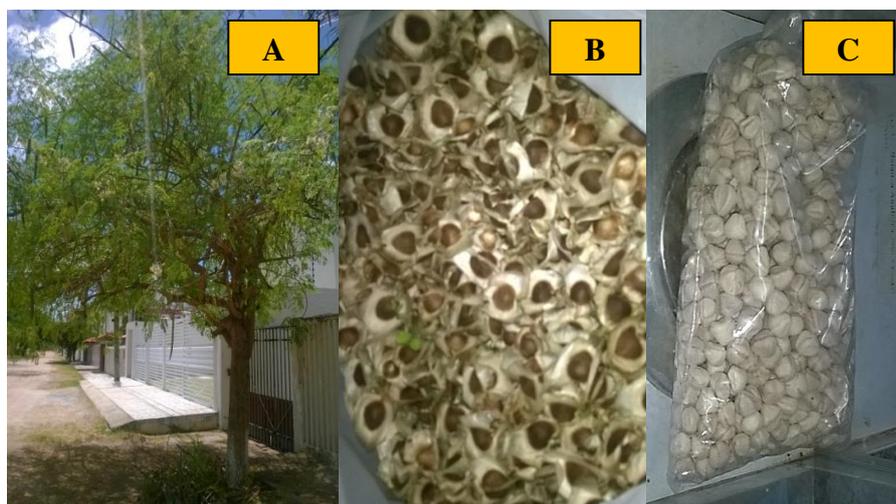
3. CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. COLETA

As sementes utilizadas para pesquisa foram colhidas no município de Cabedelo-PB, que fica localizado na região metropolitana de João Pessoa-PB, caracterizado pelo clima tropical chuvoso com verão seco e temperatura máxima de 30 °C e mínima de 22 °C.

As sementes foram colhidas no mês de dezembro em período de estiagem, pois a coleta realizada em meses chuvosos reduz a qualidade do óleo obtido devido a umidade nas sementes.

Figura 4: (a) Árvore de Moringa. (b) Sementes Com Casca. (c) Sementes Sem Casca.



Fonte: Arquivo Pessoal

3.2. EXTRAÇÃO

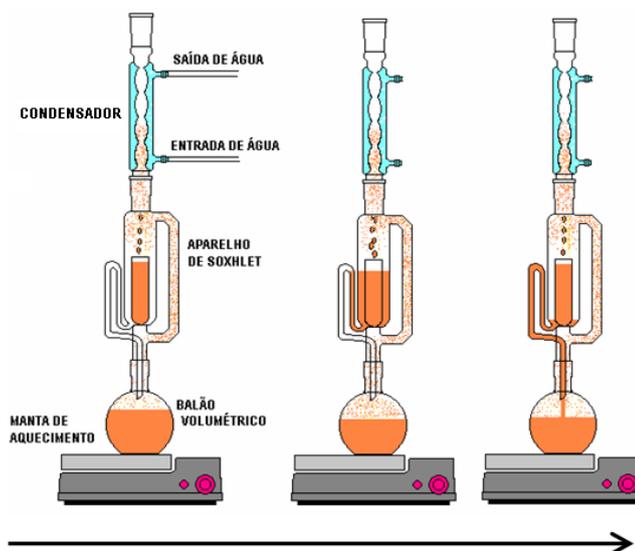
3.2.1. Extração por Soxhlet

Como descrito na literatura o método de extração sólido-líquido é realizado pelo extrator soxhlet, que possibilita uma extração contínua do material de interesse com a reciclagem do solvente evitando um uso elevado do mesmo.

A extração pode ser realizada em minutos ou em dias, dependendo da solubilidade do composto no solvente, a temperatura do sistema é mantida constante na faixa de ebulição do solvente, o substrato fica encapsulado em um material poroso na câmara central do aparelho de

soxhlet. As sementes de moringa sem casca foram trituradas com o intuito de aumentar a área de contato entre o solvente e o substrato.

Figura 5: Esquema de Extração por solvente



Fonte: Siqueira, 2018

As sementes trituradas (97,31 g) foram colocadas em um cartucho poroso feito com papel de filtro previamente pesado (Figura 5). A extração foi encerrada com 4 horas de refluxo, com uma faixa de temperatura entre 60-70 °C. O sistema solvente-óleo foi separado usando um rotaevaporador

Figura 5: Semente de Moringa Triturada (a) e Sistema de extração sólido-líquido (b)



Fonte: (a) ALMEIDA, 2015; (b) Arquivo Pessoal

3.2.2. Extração por Prensa Hidráulica

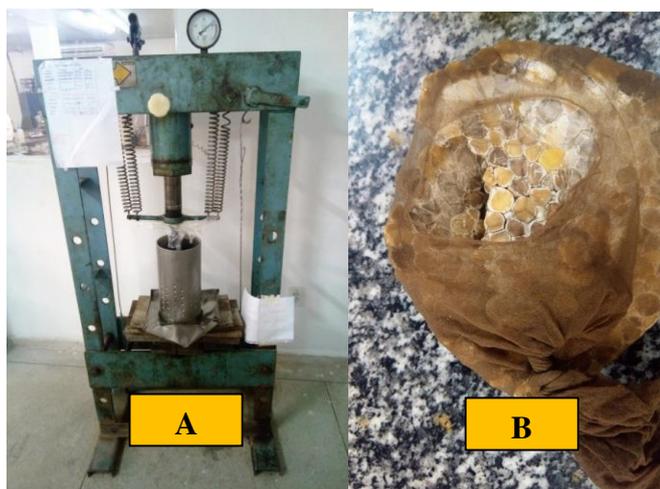
O método de extração por prensa hidráulica é indicado para sementes ou amêndoas que apresentam um percentual de 30-50% de óleo. As prensas hidráulicas (prensagem descontínua) apresentam um cilindro perfurado onde se desloca um êmbolo que faz pressão na matéria-prima (que fica dentro de um saco de algodão ou lona). No método de prensagem, a extração de óleo não é completa e a torta gerada no processo pode apresentar um alto teor de óleo residual.

Diferente da extração sólido-líquido as sementes foram utilizadas inteiras, com o intuito de reduzir a retenção do óleo na fibra de algodão, as amêndoas foram colocadas em uma meia calça de fibra de Nylon.

Antes da extração as sementes foram colocadas em uma estufa, com temperatura fixada em 50 °C para diminuir a umidade natural da semente, inativar enzimas e desnaturar as proteínas da semente para facilitar o desprendimento do óleo.

Foram pesadas 120 g da amostra e prensada a 30 Kgf/m² por 18 horas (Figura 7). A torta parcialmente desengordurada foi acondicionada na geladeira para uma possível extração do óleo residual pelo método de extração sólido-líquido.

Figura 7: (a) Prensa Hidráulica Utilizada Para A Extração Do Óleo. (b) Torta Obtida no Fim da Prensagem.



Fonte: Arquivo Pessoal.

3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

3.3.1. Densidade

A determinação da densidade para o óleo de moringa extraído pelo método sólido-líquido e pela prensa hidráulica foi feita usando um densímetro digital Mettler Toledo de acordo com a metodologia ASTM D 4052.

3.3.2. Viscosidade Cinemática

Viscosidade pode ser definida como a resistência que um fluido oferece ao escoamento. Ela pode ser definida como o atrito interno resultante do movimento de uma camada de fluido em relação à outra. Para determinar a viscosidade foi utilizado o aparelho de viscosidade cinemática manual da Julabo 18 V, usando um capilar de 150 a 40 °C.

De acordo com as recomendações do fabricante é utilizado uma alíquota de 10 ml da amostra para realizar a análise que pode ser realizada em triplicata ou duplicata, neste ensaio as análises foram feitas em duplicata, o valor da viscosidade é dado pela multiplicação do tempo em segundo referente ao escoamento do líquido pela constante do capilar a 40 °C determinada pelo fabricante. A análise foi feita de acordo com a norma ASTM D 445.

3.3.3. Índice de Acidez

O índice de acidez tem por finalidade verificar a existência de ácidos graxos (AG) livres em óleos e gorduras, os ácidos graxos são os principais constituintes de mono, di e triglicerídeos. O método utilizado para análise foi a NBR 11115 de 1998, usando etanol como solvente. As análises foram realizadas em triplicatas e o resultado foi expresso em miligramas de KOH por grama, dado seguinte equação:

$$IA = \frac{(56,1.V.N)}{M} \quad \text{eq. 1}$$

Sendo:

V volume da solução de KOH, gasto na titulação em mililitros;

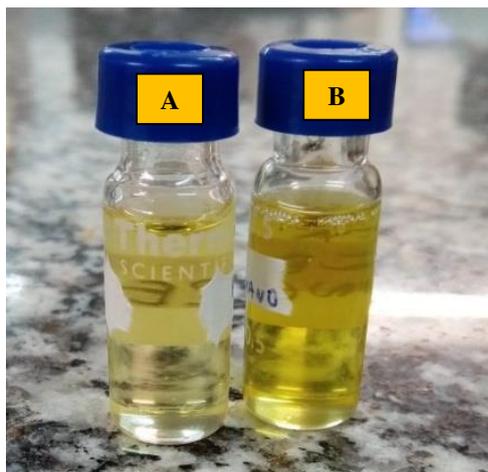
M massa da amostra, em gramas;

N é a normalidade exata da solução de KOH.

3.3.4. Análise de Cor

Para realizar a análise foi utilizado um colorímetro da Koehler usando a norma ASTM D1500, que varia de uma escala de 0,5 a 8 em níveis de cor.

Figura 8: (a) Extração por Prensa Hidráulica. (b) Extração Por Solvente



Fonte: Arquivo pessoal.

3.3.5. Composição De Ácidos Graxos Por Cromatografia Gasosa

Para a determinação do perfil de ácidos graxos foi realizado uma esterificação metílica seguindo a metodologia descrita por HARTMAN & LAGO (1973) e a quantificação obtida por curva de calibração com padrões de ésteres metílicos (Supelco® 37 Component FAME Mix), utilizando um GCMS-QP2010 (Shimadzu, Kyoto, Japan) equipado com uma coluna Durabound DB-23 (30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m).

A temperatura do injetor e do detector foram fixados em 230 °C e a temperatura da coluna em 90 °C. O gradiente de eluição na coluna foi de 90 a 150 °C (10 °C/min), 150 a 200 °C (2 °C/min), 200 a 230 °C (10 °C/min) em um tempo total de corrida de 39 minutos com um split de 100. O gás transportador foi He.

3.3.6. Determinação da Massa Molar Aproximada do Óleo de Moringa

Massa molar aproximada do óleo, calculada com base em ácidos graxos dos óleos segundo a equação 2 (PICHINELLI 2010).

$$MM_{\text{óleo}} = 3[\sum(\%AG * MM_{AG})] + MM_g - 3(MM_{\text{água}}) \quad \text{eq. 2}$$

Onde:

MM_g : Massa molar do glicerol;

$MM_{\text{água}}$: Massa molar das três moléculas de água perdidas na formação dos triacilglicerídios;

%AG: Quantidade de cada ácido graxo existente na molécula;

MM_{AG} : Massa molar de cada ácido graxo existente na molécula (g/mol);

$MM_{\text{óleo}}$: Massa molar do óleo (g/mol)

3.3.7. Estabilidade Oxidativa

A determinação da estabilidade oxidativa do óleo de moringa foi realizada utilizando o equipamento Biodiesel Rancimat Metrohm, de acordo com a norma EN 14112. A análise tem por finalidade acelerar o processo de envelhecimento da amostra por exposição ao calor e elevado volume de ar, medindo o tempo que decorre até o ponto de indução ou índice de estabilidade oxidativa (OSI).

3.4. PIRÓLISE DO ÓLEO DE MORINGA OLEÍFERA

Os experimentos foram realizados em um pirolisador de filamento modelo Girdel 75-Py-1, conectado diretamente a um CG/EM.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE MORINGA

O conhecimento das propriedades físico-químicas de um material auxilia no processo de tomada de decisão em relação a método de coleta, armazenamento e quais processos devem ser adotados principalmente no pré-processamento da matéria-prima e coprocessamento do produto para se alcançar a qualidade desejada.

Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com dados existentes na literatura de referência, como segue na tabela 2.

Tabela 2: Resultado das análises Físico-Químicas Comparados com a Literatura de Referência

PARÂMETROS	AUTOR		ALMEIDA (2015)		SILVA (2013)	PEREIRA et al (2012)
	PRENSA	SOXHLET	PRENSA	SOXHLET		
Densidade	0,9083	0,9138	0,91	0,886	0,912	0,909
Índice de Acidez (mgKOH.g ⁻¹)	2,06	5,6	1,45	1,57	4	0,33
Viscosidade Cinématica (mm ² /s)	41,79	45,7	52,12	23,133	44,5	49,16
Teor de óleo %	14,03	30,11	24,48	41,94	-	-
Estabilidade Oxidativa (h)	>24	>24	-	-	-	93
Cor	0,9	2,7	-	-	-	-

Fonte: Autor

4.1.1. Extração

Comparada com oleaginosas estabelecidas no mercado energético (soja 19% e algodão 16%) moringa apresenta um alto percentual de óleo maior do que essas culturas e não compete com a indústria alimentícia.

Os dados obtidos neste trabalho sobre o teor de óleo % diferem dos encontrados na literatura, exemplificados na tabela 2, pode ser associado a fatores externos como quantidade insuficiente de sementes na prensa hidráulica, ocasionando uma eficiência operacional, outro fator que interfere na extração do óleo é o nível de secagem da semente.

A extração por soxhlet neste trabalho se mostrou mais eficiente na obtenção do óleo, ainda que menor do que obtido por Almeida (2015) de 41,94 %, o rendimento observado de 30,11% é superior ao valor de 25% estabelecido pela EMBRAPA (2015).

Como analisado por Anwar e Bhangar (2003) os resultados obtidos dependem das condições de cultivo e região em que a colheita foi utilizada. As sementes para construção desse

projeto foram coletadas em ambientes atípicos, ou seja, as *moringaceae* se encontravam em região urbana plantadas com intuito de ornamentação, considerando este cenário os rendimentos obtidos são satisfatórios.

4.1.2. Densidade

A determinação da massa específica do óleo foi semelhante ao disponível na literatura. Comparando os tipos de extrações realizadas a diferença entre os valores obtidos, apesar de não ser significativo, pode ser atribuído a resíduos de oxidação formados no aquecimento do óleo durante a extração com solvente.

4.1.3. Índice de Acidez

Os óleos vegetais quando expostos a agente oxidantes (temperatura, luz, umidade, ar) liberam no meio ácidos graxos livres que são moléculas altamente reativas e indicam o estado de conservação do óleo, dessa forma quanto maior os valores para IA menor o estado de conservação do óleo.

Os valores obtidos (tabela 2) de 2,06 mgKOH.g⁻¹ para óleo obtido na prensa e 5,6 mgKOH.g⁻¹ por soxhlet são considerados altos, um óleo em bom estado de conservação tem IA inferior a 1, salvo oleaginosas que naturalmente fornecem óleos mais ácidos.

Pereira et al (2012) obteve um óleo em excelente estado de conservação que pode ser atribuído a qualidade da semente e armazenamento adequado.

Diferente da produção tradicional de biodiesel, o IA não interfere na qualidade do bio-óleo obtido na pirólise, sendo assim não há necessidade de uma etapa de correção da acidez antes do processo de conversão em hidrocarbonetos renováveis.

4.1.4. Viscosidade Cinemática e Análise de Cor

As viscosidades cinemáticas medidas neste trabalho apresentam resultados semelhantes aos encontrados na literatura. A diferença entre as viscosidades medidas entre o método da prensa e do soxhlet pode ser explicada por uma possível formação de produtos de oxidação pela temperatura.

Não foram encontradas referências comparativas para análise cor. A cor não é considerada uma propriedade intrínseca de uma substância, pois depende da percepção humana, como a cor é determinada pelo comprimento de onda que ele é capaz de absorver e refletir. Sendo assim, mudanças no comprimento de onda podem indicar mudanças na estrutura do óleo fazendo com que a absorção e reflexão da luz sejam percebidas de formas diferentes.

Segundo FREIRE *et al* (2012) submeter um óleo vegetal à temperatura ocasiona na formação de espuma e mudança na viscosidade o que estão relacionados com a presença de compostos resultantes da oxidação do óleo pela ação do calor e o escurecimento da amostra é atribuído à presença de compostos não polares provenientes dos alimentos que são solubilizados no meio.

4.1.5. Composição de Ácidos Graxos

A composição dos ácidos graxos foi determinada pelo método de cromatografia gasosa, os componentes identificados estão escritos na tabela 3. Comparando os dados obtidos com os da literatura, a composição do óleo de moringa é semelhante aos descritos por ALMEIDA (2015) e ANWAR e BHANGER (2003).

As variações nas porcentagens dos ácidos graxos podem ser explicadas pela diferença de solo (disponibilidade de nutrientes), clima (regime de chuvas) e espécie. As diferenças entre os métodos de extração não apresentam diferenças estáticas

O percentual de ácidos graxos monoinsaturados foi elevado (81,23%), sendo o ácido oleico majoritário com 71,54 pelo método de prensagem e 72,5% pela extração do solvente.

Tabela 3: Composição de Ácidos Graxos

COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS	AUTOR		ALMEIDA (2015)		ANWAR E BHANGER (2003) %
	PRENSA %	SOXHLET %	PRENSA %	SOXHLET %	
Ácido palmitoleico (C16:1)	1,36	1,36	1,73	1,84	1
Ácido palmítico (C16:0)	6,7	6,5	6,37	7,24	6,5
Ácido esteárico (18:0)	3,29	3,21	5,32	5,14	5,67
Ácido Oleico (18:1) (cis)	71,54	72,5	75,78	76,43	76
Ácido Oléico	6,5	6,92	-	-	-
Ácido linoleico	0,7	0,47	1	1,49	1,29
Ácido eicosanoico (C20:0)	2,35	2,1	2,96	2,47	3
Ácido gadoleico (C20:1)	1,83	1,68	2,02	1,72	1,2
Ácido Behênico (C23:0)	5,12	4,65	4,63	3,6	5
Ácido Pentacosanoico (C25:0)	0,61	0,61	-	-	-
Total %	100	100	99,81	99,93	99,66

Fonte: Autor

4.1.6. Estabilidade Oxidativa

PEREIRA et al (2012) determinou um tempo de indução de 93 horas para óleo de moringa, um excelente resultado que determina que a moringa tem grande resistência a oxidação um ótimo parâmetro quando se há necessidade de estocagem do material.

Neste trabalho o ensaio de estabilidade oxidativa foi interrompido após 24 horas sem a detecção do ponto de indução, para os objetivos propostos o tempo de análise foi o suficiente para atestar a resistência oxidativa do óleo de moringa.

Dada a composição de ácidos graxos ALMEIDA (2015) ressalta que a concentração de ácido Behênico (5,12%) confere ao óleo resistência significativa à oxidação.

4.1.7. Determinação da Massa Molar do Óleo de Moringa

A determinação da massa molar foi feita utilizando a equação 2, a partir da massa molar (tabela 4) dos ácidos graxos que compõem o óleo e porcentagem dos mesmos (tabela 3).

Tabela 4: Massa Molar dos Ácidos Graxos

ÁCIDO GRAXO	FORMULA MOLECULAR	MASSA MOLAR (g.mol ⁻¹)
Ácido palmítico (C16:0)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,42
Ácido palmitoleico (C16:1)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,42
Ácido esteárico (18:0)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,48
Ácido Oleico (18:1) (cis)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,48
Ácido Oléico	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,48
Ácido linoleico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284,48
Ácido eicosanoico (C20:0)	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312,54
Ácido gadoleico (C20:1)	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312,54
Ácido Behênico (C23:0)	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	354,61
Ácido Pentacosanoico (C25:0)	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	382,663

Fonte: Autor

A diferença na massa molar (tabela 5) entre os métodos se deve a variação das quantidades dos componentes no óleo, o extraído pelo soxhlet apresenta um percentual maior de ácido oleico.

Tabela 5: Resultada das Massas Molares por Método de Extração

MASSA MOLAR (g.mol⁻¹)	
PRENSA	SOXHLET
895,896	899,612

Fonte: Autor

4.2. PERFIL DOS COMPONENTES DO BIO-ÓLEO OBTIDO POR PIRÓLISE RÁPIDA

O bio-óleo é uma mistura complexa de componentes, apresenta coloração escura, alta viscosidade, acidez elevada e baixa. Essas características iniciais do bio-óleo dificultam o seu uso como combustível, seu poder calorífico (17MJ/Kg) é em média 40% menor do que combustível de origem fóssil (43MJ/Kg) (ALMEIDA, 2008).

Apresenta solubilidade em solventes polares, pela alta concentração de componentes oxigenados e nitrogenados, possui grande capacidade reativa podendo acontecer reações de polimerização, que são favorecidas pela temperatura e presença de luz.

O bio-óleo pode ser usado como matéria-prima de diferentes produtos químicos (flavorizantes, resinas, agroquímicos, fertilizantes). Para o mercado energético o bio-óleo pode ser considerado um fluido transportador de energia, que pode ser produzido em pequenas unidades de pirólise e transportado de forma econômica para centrais de refino para serem transformados em combustíveis líquidos de alto poder calorífico, de acordo com as normas vigentes.

Nas figuras 8 e 9 são apresentados os cromatogramas obtidos na análise dos componentes do bio-óleo, é possível evidenciar picos maiores que outros que caracterizam a predominância de determinados componentes em relação a outros na amostra.

Figura 8: Cromatograma do Bio-Óleo do Óleo de Moringa Extraído pela Prensa

Fonte: Autor

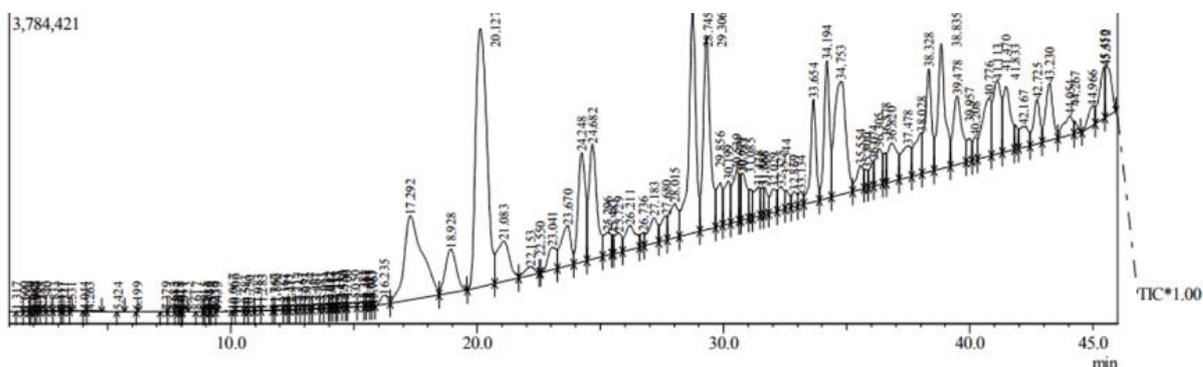
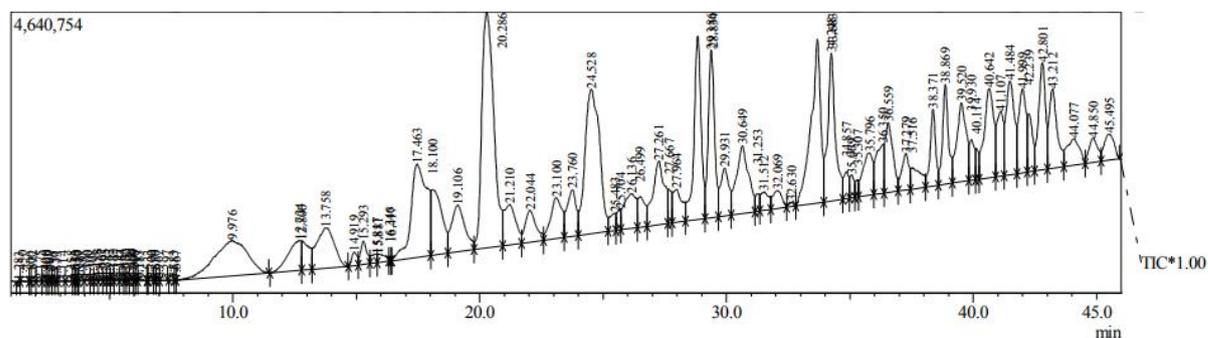


Figura 9: Cromatograma do Bio-Óleo do Óleo de Moringa Extraído pelo Soxhlet



Fonte: Autor

Foram identificados 122 componentes na composição do bio-óleo, demonstrando que é uma mistura complexa entre ácidos carboxílicos, fenóis, hidrocarbonetos, além de compostos nitro-oxigenados.

Segundo Maciel et al (2015) a concentração de nitrogenados no óleo se dá pela existência de proteínas que têm nitrogênio na sua estrutura. Os hidrocarbonetos por sua vez têm origem na degradação dos ácidos graxos, assim como álcoois e os ácidos, em porcentagem de composição os hidrocarbonetos representam 45,83% na mistura total do bio-óleo (tabela 6).

O resultado obtido na produção de hidrocarbonetos (45,83%) mostrou-se satisfatória quando comparado a ensaios realizados na presença de catalizadores como o trabalho de Macêdo (2017) que realizou pirólise termo catalítica de óleos de vegetais, obteve uma conversão de 76,6% usando Mo/HBeta como catalisador.

Tabela 6: Porcentagem de Hidrocarbonetos no Bio-óleo

EXTRAÇÃO À FRIO (PRENSA)		
HIDROCARBONETOS	%	FÓRMULA MOLECULAR
1-HEXENO	3,39	C ₆ H ₁₂
HEXANO	3,56	C ₆ H ₁₄
1- HEPTENO	6,89	C ₇ H ₁₄
HEXANO,3-METIL	6,01	C ₇ H ₁₆
NORBORNANO	1,47	C ₇ H ₁₂
METILCICLOHEXANO	2,31	C ₇ H ₁₄
1-OCTANO	3,19	C ₈ H ₁₆
CICLOOCTANO,(Z)	2,13	C ₈ H ₁₆
2,4-DIMETIL-HEPTANO	4,28	C ₉ H ₂₀
NONANO	3,2	C ₉ H ₂₀
CICLOHEXANO, 1-PROPIL	0,77	C ₉ H ₁₈
UNDECANO	3,89	C ₁₁ H ₂₄
HEPTIL CLICLOHEXENO	1,8	C ₁₃ H ₂₈
4-METHYL-1,3-PENTADIENE	0,8	-
Tetracontano,3,5,24-trimethyl	1,77	-
1-HEXILCICLOHEXENO	0,37	-
TOTAL	45,83	

Fonte: Autor

Para aumentar a concentração de hidrocarbonetos o bio-óleo pode passar por processo de hidroxigenação para eliminar o oxigênio da mistura na forma de água. Por fim, a eficiência do processo de pirólise rápida na conversão do óleo de moringa foi a não identificação do levoglucosano, que é caracterizado como biomarcador molecular de queima incompleta.

A ausência do levoglucosano determina que os parâmetros estabelecidos para pirólise do óleo de moringa foram adequados e houve uma distribuição de temperatura satisfatória no reator de leito fixo, tendo em vista que o levoglucosano se forma na pirólise na qual a temperatura varia entre 150-350 °C. Czernick e Brigdwat (2004) destacam que a presença dessa substância no bio-óleo não é recomendável para o uso como biocombustível, mas pode ser utilizado na produção de surfactantes e polímeros biodegradáveis.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSÃO

Em relação a *Moringa oleífera Lam*

- A utilização do óleo de *Moringa oleífera Lam* mostrou-se uma matéria-prima adequada para produção de bio-óleo via pirólise rápida. O bio-óleo tem aplicações diversas, podendo ser usado para extração de bioprodutos para indústria farmacêutica e para a indústria de energia.
- Sendo a moringa uma oleaginosa que não está inserida na indústria alimentícia seu uso para obtenção de hidrocarbonetos renováveis é caracterizado como adequado e sustentável, diferente da soja e outras monoculturas.
- O cultivo da moringa pode ser realizado em regiões com baixo nível pluviométrico, tem baixa exigência de solo e pode ser usada como alternativa para recuperação de áreas degradadas pela monocultura.

Em relação a pirólise rápida em leito fixo

- Se mostrou eficiente na conversão do óleo de moringa em hidrocarbonetos renováveis.
- Uma desvantagem do processo é o custo de produção e difícil controle dos produtos gerados.
- Os maiores desafios desta tecnologia são: Escala, Redução de custos e construção de normas e padrões. Nesse contexto se faz necessários mais pesquisas no campo da pirólise rápida para identificar pontos de melhoria.

Em relação ao bio-óleo

- Excelente fluido transportador de energia.
- Apresentou excelente composição de hidrocarbonetos, principalmente na faixa da gasolina de aviação (5 a 9 carbonos).
- Os maiores desafios são: utilização de matéria-prima sustentável, melhorar a qualidade do óleo, redução do custo (10% a 100%) mais caro que o combustível fóssil.

6. REFERÊNCIAS

ABRÃO, Rafael Almeida Ferreira, **IMPACTOS DA PANDEMIA DE COVID-19 NA ECONOMIA E NA POLÍTICA INTERNACIONAL**. Boletim de Economia e Política Internacional | BEPI | n. 27 | maio 2020/agosto 2020.

ALMEIDA, Fernanda Naíara Campos de. **ESTUDO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA SEMENTE DE MORINGA OLEIFERA LAM. VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**. Universidade de Maringá, 2015. Disponível em <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3757/1/000222866.pdf>

ALMEIDA, Marlon Brando Bezerra de. **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**. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em <http://186.202.79.107/download/bio-oleo-a-partir-da-pirolise-rapida.pdf>

ANP. **BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO**. Publicado: Quinta, 20 de outubro de 2016, 4h04 atualizado: Quarta, 26 de outubro de 2016, 14h05. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biocombustiveis-de-aviacao>>

ANWAR, F.; BHANGHER, M.I. **ANALYTICAL CHARACTERIZATION OF MORINGA OLEIFERA SEED OIL GROWN IN TEMPERATE REGIONS OF PAKISTAN**. Journal Agricultural and Food Chemistry, v. 51, p. 6558-6563, 2003.

BRIDGWATER, A. V., 2003. **"RENEWABLE FUELS AND CHEMICALS BY THERMAL PROCESSING OF BIOMASS"**. Chemical Engineering Journal, v. 91, n. 2-3, p. 87-102.

CZERNIK, S. and BRIDGWATER, A. V. **OVERVIEW OF APPLICATIONS OF BIOMASS FAST PYROLYSIS OIL**. Energy & Fuels 2004, 18, 590-598.

EMBRAPA, **TEORES DE ÓLEO E PROTEÍNA EM SOJA: FATORES ENVOLVIDOS E QUALIDADE PARA INDÚSTRIA**. Comunicado técnico 86, ISSN 2176-2889, Londrina, PR. Maio de 2015.

FONSECA, Noyala Souza Cerqueira. **OBTENÇÃO DE BIOQUEROSENE POR PIRÓLISE RÁPIDA CATALÍTICA DE BIOMASSA DE MICROALGAS**. Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador 2019.

GONÇALVES, Cecília Kober. **PIRÓLISE E COMBUSTÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS/** C.K. Gonçalves- São Paulo, 2007. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-09012008-122306/pt-br.php>

IEMA, **AS EMISSÕES BRASILEIRAS DE GASES DE EFEITO ESTUFAM NOS SETORES DE ENERGIA E DE PROCESSOS INDUSTRIAIS EM 2019.** Disponível em < <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>>

MACHADO, Yguatyara de Luna. **AVALIÇÃO DA ESTABILIDADE OXIDATIVA E DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE OXIDAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS, ÁCIDO OLEICO E BIODIESEL UTILIZANDO O MÉTODO PETROOXY (ASTM D7545).** Tese de Doutorado-Centro de Tecnologia-UFRN, Natal, 2014. Disponível em https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/21671/1/YguatyaraDeLunaMachado_TESE.pdf

MACIEL, Samia Tássia Andrade. **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIO-ÓLEO DA MORINGA OLEIFERA LAM EM REATOR DE LEITO FIXO.** Departamento de Engenharia Química-Universidade Federal de Sergipe (UFS), 2015. Disponível em http://www.portalabpg.org.br/site_portugues/anais/anais8/repositorio/trabalho/371802260720_157970.pdf

PEREIRA, Daiane Farias et al. **AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO DO BIODIESEL A PARTIR DA MORINGA.** Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 156-164, dez. 2012. Disponível em <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/4587>

SANTOS, Kássia Graxiele dos. **ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA PIRÓLISE DE BIOMASSA EM LEITO DE JORRO: FLUIDODINÂMICA E CINÉTICA DO PROCESSO.** Universidade Federal de Uberlândia, 2011. Disponível em <http://clyde.dr.ufu.br/bitstream/123456789/15058/1/TeseParte1.pdf>

SILVA, M.O. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA SEMENTE DE MORINGA OLEÍFERA E ESTUDO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE ÓLEO.** 2013. 50 f. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013. Disponível <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3757/1/000222866.pdf>

SIQUEIRA, Gilson. **EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS: PRINCIPAIS TÉCNICAS E SUAS CARACTERÍSTICAS.** Disponível em <https://pt.linkedin.com/pulse/extra%C3%A7%C3%A3o-de-compostos-org%C3%A2nicos-principais-t%C3%A9cnicas-e-gilson-siqueira>

SOARES, Pedro G. **ESQUEMA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (CORSIA/ICO): desafios e oportunidades.** / Pedro Soares; Mariano Colini Cenamo. São Paulo: IDESAM, 2018. 32 p. il. Color. ISBN 978-85-64371-29-3

YORDANKA Reyes Cruz *et al*, **PRODUÇÃO DE HIDROCARBONETOS RENOVÁVEIS A PARTIR DO BIO-ÓLEO EXTRAÍDO DA BIOMASSA ÚMIDA DA MICROALGA *MONORAPHIDIUM* SP, 2017.** Disponível em <https://ubrabio.com.br/2018/03/15/hidrocarbonetos-renovaveis-a-partir-do-bio-oleo-extraido-da-biomassa/>