



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS



SAMUEL PERES CHAGAS

**USO DE ÉSTERES LEVES DO BIODIESEL PRODUZIDO DO ÓLEO DA
AMÊNDOA DA GUEIROBA (*Syagrus oleracea* (Mart.) Becc), PARA COMPOR,
EM MISTURA COM QUEROSENE MINERAL, COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO**

Uberlândia – 2019

SAMUEL PERES CHAGAS

**USO DE ÉSTERES LEVES DO BIODIESEL PRODUZIDO DO ÓLEO DA
AMÊNDOA DA GUEIROBA (*Syagrus oleracea* (Mart.) BECC), PARA COMPOR,
EM MISTURA COM QUEROSENE MINERAL, COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal de Uberlândia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia em Biocombustíveis

Orientador: Prof. Dr. Douglas Queiroz Santos

Co-orientador: Prof. Dr. José Domingos Fabris

Linha de Pesquisa: Produtos e coprodutos

Uberlândia – 2019

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C433	Chagas, Samuel Peres, 1994-
2019	Uso de ésteres leves do biodiesel produzido do óleo da amêndoia da gueiroba (<i>Syagrus oleracea</i> (Mart.) Becc) para compor, em mistura com querosene mineral, combustível de aviação [recurso eletrônico] / Samuel Peres Chagas. - 2019.
<p>Orientador: Douglas Queiroz Santos. Coorientador: José Domingos Fabris. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Biocombustíveis. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2401 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p>	
<p>1. Biocombustível. I. Queiroz Santos, Douglas, 1980-, (Orient.). II. Domingos Fabris, José, 1948-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Biocombustíveis. IV. Título.</p>	

CDU: 662.756

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Biocombustíveis				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 36, PPBIC				
Data:	06 de Setembro de 2019	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	12:10
Matrícula do Discente:	11712PGB006				
Nome do Discente:	Samuel Peres Chagas				
Título do Trabalho:	Ésteres leves do biodiesel produzido a partir do óleo de amendôa da gueiroba (<i>Syagrus oleracea BECC</i>) para compor misturas com querosene mineral em combustível de aviação				
Área de concentração:	Biocombustíveis				
Linha de pesquisa:	Produtos e Coprodutos				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Anfiteatro Prof. Dr. Manuel Gonzalo Hernández-Terrones, no bloco 5I, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, assim composta: Professores Doutores: João Paulo Victorino Santos, do Instituto Federal de Goiás; Daniel Pasquini e Fábio Augusto do Amaral, da Universidade Federal de Uberlândia; e Douglas Queiroz Santos, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Douglas Queiroz Santos, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos,

conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Douglas Queiroz Santos, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 06/09/2019, às 12:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Pasquini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 06/09/2019, às 12:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Augusto do Amaral, Professor(a) do Magistério Superior**, em 06/09/2019, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOÃO PAULO VICTORINO SANTOS, Usuário Externo**, em 06/09/2019, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1487684** e o código CRC **159F8F6C**.

SAMUEL PERES CHAGAS

**USO DE ÉSTERES LEVES DO BIODIESEL PRODUZIDO DO ÓLEO DA
AMÊNDOA DA GUEIROBA (*Syagrus oleracea* (Mart.) BECC), PARA COMPOR,
EM MISTURA COM QUEROSENE MINERAL, COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal de Uberlândia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia em Biocombustíveis

Linha de Pesquisa: Produtos e coprodutos

Uberlândia, 06 de setembro de 2019

Douglas Queiroz Santos

Daniel Pasquini

Fábio Augusto do Amaral

João Paulo Victorino Santos

Uberlândia – 2019

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos são de inteira e completa gratidão à toda força, sabedoria, paciência e perseverança que Deus me proporcionou durante o meu tempo nesta etapa da minha vida. Sem a Sua presença em minha vida este trabalho não seria possível.

Aos meus familiares, que sempre estenderam as mãos para auxiliar e apoiar a todo momento, e estiveram presentes ao longo destes dois anos com palavras de incentivo.

Ao professor, co-orientador e amigo José Domingos Fabris, pelo apoio nos momentos de incerteza, pelo incentivo para prosseguimento com o tema e pelas correções que fizeram com que este trabalho fosse concluído.

Ao professor Douglas Queiroz Santos, a quem considero como um amigo e companheiro que fiz durante este período. Meu sincero obrigado pelo tempo dedicado, pelo conhecimento repassado, pelas oportunidades e principalmente pelo extremo auxílio e interesse no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia – UFU, ao Instituto de Química – IQ, ao programa de pós-graduação em Biocombustíveis, a Escola Técnica de Saúde – ESTES, ao Laboratório de Biocombustível e Tecnologia Ambiental – LABTA, pela disponibilidade de equipamentos, infraestrutura e colaboradores que auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

A busca global contínua por fontes alternativas de energia, particularmente nas últimas décadas, tem sido, em grande medida, focada nos biocombustíveis, que desempenham um papel fundamental na redução da dependência de fontes fósseis e, em consequência, mantêm a proporção de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra em níveis ambientalmente racionais. No que diz respeito ao transporte aéreo, os esforços crescentes têm sido até agora essencialmente dirigidos ao desenvolvimento de combustíveis parafínicos derivados de biomassas industriais. A abordagem de desenvolvimento aqui relatada é diferentemente dedicada a separar a fração mais leve (cadeias moleculares mais baixas) dos ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME's biodiesel) obtidos através da reação de transesterificação catalisada homogeneousmente por KOH pela rota metílica, de triacilgliceróis do óleo da amêndoia de gueiroba (*Syagrus oleracea* (Mart.) Becc) extraída por Soxhlet. O fracionamento de biodiesel sob destilação atmosférica com coluna de vidro isolada termicamente, sob pressão atmosférica, foi finalizado em 59,79%, em termos volumétricos, de ésteres mais leves (biodiesel leve, BL), do volume total de biodiesel, constituindo-se como uma metodologia inovadora para produção de biocombustíveis. O biodiesel leve foi misturado ao querosene de aviação mineral Jet-A1 (cf. denominação internacional ASTM, correspondente ao QAV-1, denominado pela agência oficial brasileira de petróleo) em misturas de 2%, 5%, 10% e 20%, para os quais os valores de densidade, teor de água, análise de destilação, ponto de fulgor, poder calorífico e ponto de congelamento foram determinados, a fim de verificar a sua conformidade com as recomendações oficiais. A análise cromatográfica verificou viabilidade técnica do processo de destilação atmosférica para concentração dos FAME's. Verificou-se que as misturas contendo até 5% de BL cumprem as características necessárias para se tornarem combustíveis conformes para substituir o querosene Jet-A1 como combustível para aviões.

PALAVRAS CHAVE: Óleo vegetal. Amêndoia de gueiroba. Transesterificação. Destilação atmosférica. Biodiesel Leve. Blends. Querosene mineral.

ABSTRACT

The continuous global search for alternative energy sources, particularly over the last few decades, has been, to a significant extent, focused on biofuels, which play a critical role in reducing the dependence of fossil sources and, in consequence, keep the proportion of greenhouse gases in the Earth atmosphere under environmentally rational levels. As far as the air transport is concerned, increasing efforts have been so far essentially directed to the development of industrial biomass-derived paraffinic fuels. The here reported development approach is differently devoted to separate the lighter (shorter molecular chains) fraction of the fatty acid methyl esters (FAME's biodiesel) obtained through the KOH-homogeneously catalyzed transesterification reaction by the methyl route of triacylglycerol's in the Soxhlet-extracted gueiroba kernel (*Syagrus oleracea* (Mart.) Becc) oil. The biodiesel fractioning under atmospheric distillation with heat-insulated glass-column, under atmospheric pressure was completed through 59.79% in a volumetric basis, of lighter esters (light biodiesel, LB), of the total biodiesel volume constituting as an innovative methodology for biofuel production. The lighter biodiesel was blended with aviation mineral kerosene Jet-A1 (cf. the ASTM international denomination, corresponding to the QAV-1, as denominated by the Brazilian official petroleum agency) in mixtures of 2%, 5%, 10%, and 20%, for which the values of density, water content, distillation analysis, flashpoint, calorific value, and freezing point were determined, in order to check for their compliance with the official recommendations. Chromatographic analysis verified the technical viability of the atmospheric distillation process for FAME's concentration. Blends containing up to 5% LB were found to fulfill characteristics to become conformed fuels to replace the Jet-A1 kerosene as fuel for airplanes.

Keywords: Vegetable oil. Gueiroba kernel. Transesterification. Atmospheric distillation. Light biodiesel. Blends. Mineral kerosene.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtos derivados da destilação do petróleo	12
Tabela 2 - Propostas de redução de emissão de GEE de diferentes países.....	23
Tabela 3 - Composição em ácidos graxos de oleaginosas.....	36
Tabela 4 - Composição de ácidos graxos do óleo da polpa e da folha da gueiroba.	48
Tabela 5 - Composição de ácidos graxos do óleo das amêndoas da gueiroba.	49
Tabela 6 - Densidade de óleos vegetais.....	80
Tabela 7 - Conteúdo de água do óleo vegetal.	81
Tabela 8 - Teores de água de óleos vegetais.....	82
Tabela 9 - Valores utilizados na fórmula para obtenção do índice de acidez.	84
Tabela 10 - Índice de peróxido das amostras de óleo.	86
Tabela 11 - Rendimentos da produção de biodiesel.....	88
Tabela 12 - Resultados do processo de destilação atmosférica do biodiesel.....	89
Tabela 13 - Composição de FAME's de cada amostra.	90
Tabela 14 - Densidade dos blends de biodiesel leve a 15 °C e a 20 °C	92
Tabela 15 - Conteúdo de água.	95
Tabela 16 - Perfil de destilação.....	97
Tabela 17 - Ponto de fulgor.....	100
Tabela 18 - Poder calorífico.	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de GEE no mundo por setores econômicos.	16
Figura 2 - Emissões brasileiras de GEE por setores econômicos.	17
Figura 3 - Comparação do ciclo de vida do dióxido de carbono entre combustíveis fósseis e biocombustíveis.	27
Figura 4 - Equação genérica de transesterificação com álcool.	37
Figura 5 - Frutos da gueiroba.	43
Figura 6 - Cachos de cocos da gueiroba.	44
Figura 7 - Amêndoas dos cocos da gueiroba.	45
Figura 8 - Cocos de gueiroba com presença de coró.	46
Figura 9 - Secagem dos cocos de gueiroba.	54
Figura 10 - Extração soxhlet.	56
Figura 11 - Evaporador rotativo.	58
Figura 12 - Agitador magnético.	66
Figura 13 - Funis de decantação do biodiesel.	67
Figura 14 - Procedimento de lavagem do biodiesel.	68
Figura 15 - Destilação atmosférica do biodiesel.	70
Figura 16 - Ilustração dos pontos de fusão observados por cada método.	77
Figura 17 - Análise de densidade dos blends a 15 °C e a 20 °C.	93
Figura 18 - Conteúdo de água dos blends e amostras puras.	96
Figura 19 - Ponto inicial e ponto final de ebulição de cada amostra.	99
Figura 20 - Ponto de fulgor de cada amostra.	101
Figura 21 - Poder calorífico de cada amostra.	103
Figura 22 - Termograma e pontos de congelamento pelo método 1.	106
Figura 23 - Termograma e pontos de congelamento pelo método 2.	106
Figura 24 - Comparação entre os dados obtidos por cada método utilizado.	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AJF	(sigla em inglês) Combustíveis Alternativos de Aviação (Alternative Jet Fuels)
ASTM	(sigla em inglês) Sociedade Americana para Testes e Materiais (American Society for Testing and Materials)
BL	Biodiesel Leve
CFC	Clorofluorcarbonos
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DSC	Calorimetria Diferencial Exploratória
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESTES	Escola Técnica de Saúde
FAME	(sigla em inglês) Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos (Fatty Acids Methyl Esters)
GEE	Gases de Efeito Estufa
IATA	(sigla em inglês) Associação Internacional de Transporte Aéreo (International Air Transport Association)
ICAO	(sigla em inglês) Organização Internacional de Aviação Civil (International Civil Aviation Organization)
IEA	(sigla em inglês) Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
INDC	(sigla em inglês) Contribuição Nacionalmente Determinada Pretendida (Intended Nationally Determined Contribution)
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

IPCC	(sigla em inglês) Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISPN	Instituto Sociedade, População e Natureza
Jet-A1	(sigla em inglês) Querosene de Aviação (Aviation Kerosene or Aviation Fuel)
NDC	(sigla em inglês) Contribuição Nacionalmente Determinada (Nationally Determined Contribution)
P.I.E	Ponto Inicial de Ebulação
P.F.E	Ponto Final de Ebulação
QAV	Querosene de Aviação
QC	Querosene Comercial
SAJF	(sigla em inglês) Combustíveis Alternativos de Aviação Sustentáveis (Sustainable Alternative Jet Fuels)
SIP	(sigla em inglês) Iso Parafinas Sintetizadas (Synthesized Iso-Paraffins)
SPK-HEFA	(sigla em inglês) Querosene Parafínico Sintético de Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (Synthetic Paraffinic Kerosene Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)
SPK-FT	(sigla em inglês) Querosene Parafínico Sintético Fischer Tropsch (Synthetic Paraffinic Kerosene Fischer Tropsch)
UNFCCC	(sigla em inglês) Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change)
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Fontes de energia não renováveis	10
1.1.1 O Petróleo.....	10
1.1.2 Produtos derivados do Petróleo.....	11
1.2 Problemática das fontes de energia não renováveis – fósseis.....	14
1.3 Principais consequências das emissões de GEE	18
1.4 Propostas de mitigação dos impactos do aquecimento global e extinção/redução das emissões de GEE.....	21
1.5 Fontes de energia de biomassa	25
1.5.1 Biomassa como fonte para produção de Biocombustíveis	26
1.6 Bioquerosene	29
1.6.1 Matérias-primas para produção de biodiesel leve	35
1.6.2 A oleaginosa <i>Syagrus oleracea</i> (mart.) becc	40
1.6.3 Características do óleo da amêndoia do coco da gueiroba	47
1.6.4 Rota de produção via transesterificação seguida de destilação atmosférica	49
2. JUSTIFICATIVA	51
3. OBJETIVOS	52
3.1 OBJETIVO GERAL	52
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	53
4. METODOLOGIA.....	54
4.1 Processos de secagem dos cocos e extração das amêndoas	54
4.2 Extração do óleo das amêndoas via Soxhlet	55

4.3 Análises do óleo vegetal	59
4.3.1 Densidade a 20º C	59
4.3.2 Conteúdo de água	60
4.3.3 Índice de acidez	60
4.3.4 Índice de peróxido	63
4.4 Produção de biodiesel a partir do óleo de gueiroba	65
4.5 Destilação atmosférica para obtenção da fração leve de biodiesel	69
4.6 Análises do biodiesel leve obtido	71
4.6.1 Teor de ésteres	71
4.6.2 Densidade a 15 ºC e a 20 ºC	73
4.6.3 Conteúdo de água	74
4.6.4 Destilação	74
4.6.5 Ponto de fulgor	75
4.6.6 Poder calorífico	75
4.6.7 Ponto de congelamento	76
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1 Extração do óleo das amêndoas de gueiroba	78
5.2 Densidade a 20ºC do óleo de gueiroba	79
5.3 Conteúdo de água do óleo de gueiroba	81
5.4 Índice de acidez do óleo de gueiroba	83
5.5 Índice de peróxido do óleo de gueiroba	85
5.6 Produção de biodiesel	87
5.7 Destilação atmosférica do biodiesel	89
5.8 Teor de ésteres	90

5.8 Densidade a 15 °C e 20 °C	92
5.9 Conteúdo de água.....	95
5.10 Perfil de destilação	97
5.11 Ponto de fulgor.....	100
5.12 Poder calorífico	102
5.13 Ponto de congelamento	104
6. CONCLUSÕES	110
7. ANEXOS	111
7.1 Anexo I – Especificações do QAV-1 e QAV-C pela ANP 778/2019.	111
7.2 Anexo II – Especificações do Jet A-1 ou QAV-1 pela ASTM D1655.	115
7.3 Anexo III - Cromatograma da amostra de biodiesel.	117
7.4 Anexo IV - Cromatograma da amostra de biodiesel leve (destilado).	118
7.5 Anexo V - Cromatograma da amostra de resíduo da destilação.	119

1. INTRODUÇÃO

1.1 Fontes de energia não renováveis

A dependência das fontes fósseis traz além da problemática da emissão de gases nocivos ao meio ambiente um problema ainda maior: a incapacidade de renovação. A partir disso, surge então a urgência de se buscar outras fontes de energia que garantam uma segurança energética às demandas da sociedade atual e que causem menos danos ao meio ambiente.

Considerada um fator essencial para o crescimento e desenvolvimento das economias dos países, a demanda energética cresce cada vez mais; e ao contrário das fontes convencionais, não renováveis, o uso de energias renováveis traz diversos benefícios, como reduzir a dependência das fontes de energia de origem fóssil, por exemplo. (CAN ŞENER; SHARP; ANCTIL, 2018).

Diferentes fontes de energia são utilizadas atualmente. As fontes primárias englobam tanto as fontes renováveis quanto as não renováveis. Dentro das energias não renováveis, temos quatro tipos principais (ou fontes primárias principais): o carvão mineral, o petróleo, o gás natural e a energia nuclear (MATIAS, 2006).

1.1.1 O Petróleo

A importância do petróleo para a sociedade atual é enorme, por isso é tão ampla a competição pelas reservas. Porém, o petróleo em seu estado bruto pouco contribui para os complexos processos onde seus destilados são peça fundamental. O grande trunfo do petróleo é a gama de produtos derivados que possuem

características distintas e importantes, que contribuem desde sua descoberta até os dias atuais, para os mais diversos tipos de tecnologias, procedimentos e métodos, seja na área de transportes – onde os destilados são mais utilizados – na área cosmética, onde alguns subprodutos também são matéria-prima; no setor de alimentos como corantes e conservantes; e também na indústria farmacêutica (SPEIGHT; EL-GENDY, 2018).

Uma enorme variedade de produtos líquidos é produzida a partir do petróleo, que variam desde a nafta, até a gasolina, o diesel e o querosene. As características de cada um dependem de uma variedade de técnicas que incluem a medição das propriedades físicas e o fracionamento em diferentes grupos. A obtenção dos produtos individualmente depende da faixa do ponto de ebulição do produto principal, ou seja, do petróleo (SPEIGHT; EL-GENDY, 2018).

1.1.2 Produtos derivados do Petróleo

Para a obtenção dos produtos derivados do petróleo é necessário submeter o óleo a um processo de refinamento. Este processo faz a transformação do óleo bruto em vários produtos de hidrocarbonetos úteis, podendo ser estes hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos ou aromáticos. O processo se dá fazendo uso de outros métodos, tais como fracionamento, conversão, tratamento e mistura, usando ainda calor e pressão, além de procedimentos para remover componentes indesejáveis, como separação, extração e purificação. Todas as tecnologias e processos envolvidos nas operações de refinaria têm como objetivo separar os produtos em grupos de compostos de hidrocarbonetos de diferentes pontos de ebulição (AITANI, 2004).

Por meio da coluna de destilação, os produtos são separados, a partir do uso de temperatura e pressão, segundo seus pontos de ebulição. Os produtos obtidos a

partir da destilação, bem como seus pontos de ebulação e cadeias carbônicas são evidenciados na Tabela 1.

Tabela 1 - Produtos derivados da destilação do petróleo.

PRODUTOS	LIMITE INFERIOR DE CARBONO	LIMITE SUPERIOR DE CARBONO	PONTO DE EBULIÇÃO MÍNIMO (°C)	PONTO DE EBULIÇÃO MÁXIMO (°C)
Gás de Refinaria	C ₁	C ₄	- 161	- 1
Gás liquefeito de Petróleo	C ₃	C ₄	- 42	- 1
Nafta	C ₅	C ₁₇	36	302
Gasolina	C ₄	C ₁₂	- 1	216
Combustível de aviões a turbina	C ₈	C ₁₆	126	287
Óleo combustível	C ₁₂	> C ₂₀	216	421
Óleo lubrificante	> C ₂₀	-	> 343	-
Cera	C ₁₇	> C ₂₀	302	> 343
Asfalto	> C ₂₀	-	> 343	-
Coque	> C ₅₀	-	> 1000	-

- Número de carbonos e ponto de ebulação precisos são de difícil avaliação. Inseridos apenas com finalidade ilustrativa.

Fonte: Adaptado de (SPEIGHT; EL-GENDY, 2017).

Um produto muito utilizado no setor de transportes é o querosene, um dos destilados do petróleo intermediário entre a gasolina e o óleo diesel. Foi descoberto inicialmente por Abraham Gesner, um médico de origem britânica, que extraiu o querosene a partir de um processo de extração de líquido inflamável de asfalto; daí vem sua denominação de carvão ou óleo combustível devido sua origem ligada ao asfalto, sendo o primeiro material a ser extraído quimicamente em escala industrial (SC GAD; T PHAM, 2014).

Quimicamente, o querosene é uma mistura de hidrocarbonetos de petróleo principalmente formado por hidrocarbonetos alifáticos e ainda derivados de benzeno e naftaleno (SC GAD; T PHAM, 2014). É um líquido oleoso, amarelo pálido ou incolor, com odor característico; obtido entre a faixa de 150 °C a 300 °C da coluna de destilação do petróleo, e sua volatilidade é intermediária entre a gasolina e o óleo diesel (SPEIGHT; EL-GENDY, 2018).

O seu principal uso atual é na aviação sob a forma de querosene de aviação, chamado de Jet-A1 ou QAV-1. Porém, para esta finalidade, o querosene necessita de especificações exclusivas para o uso, como valores ponto de congelamento e ponto de fulgor (que podem variar também com a região de utilização) que são determinadas pela IATA – Associação Internacional de Transporte Aéreo e pela ANP a nível nacional. Segundo a ANP (2016) muitas destas exigências se dão por questões de segurança, que são fatores de extrema importância dentro da cadeia de produção e dos procedimentos de controle e manuseio do combustível.

Nacionalmente o querosene para uso na aviação civil era regulado pela Resolução ANP número 37 de 2009; porém, foi substituído pela Resolução 778 de 2019, que traz as especificações para o querosene de aviação, chamado de QAV-1, querosenes alternativos (QAV alternativo) e as misturas entre eles, chamados de QAV-C (MMA; ANP, 2019a).

A nível internacional as especificações do querosene mineral estão presentes na norma D1655, da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), que estabelece os parâmetros mínimos do Jet-A1 e do Jet-A. Importante ressaltar que o Jet A tem propriedades bastante semelhantes ao Jet-A1, mas é utilizado somente os EUA, enquanto o Jet-A1 é utilizado em todo o restante do mundo, assim como o Brasil, sob a forma de QAV-1. Ainda há o chamado Jet-B, que consiste numa mistura entre gasolina e querosene, com propriedades semelhantes ao Jet-A1, porém, diferente nas características de ponto de congelamento e densidade. É mais indicado para aeronaves militares, e possui especificação própria sob a norma ASTM D6615 (OILTANKING, 2015).

1.2 Problemática das fontes de energia não renováveis – fósseis

Embora as fontes de energia não renováveis sejam de enorme valor para as atividades da sociedade atual, alguns problemas estão associados à sua utilização, principalmente relacionados com a degradação do meio ambiente e poluição dos recursos naturais, que trazem questões relacionadas as mudanças climáticas.

As mudanças climáticas se tornaram uma questão de enorme discussão global, relacionadas a energia, economia, meio ambiente e tecnologia. Sem a iniciativa de ações que possam reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), é provável que o aquecimento global exceda 2 °C acima dos níveis anteriores à industrialização, o que causaria impactos na paisagem, no nível do mar, e afetaria de forma direta o desenvolvimento econômico e social de países em todo o mundo (ZHENG et al., 2019).

Porém, é importante avaliar de que forma ocorre o aquecimento do globo, e se de fato este é um problema real, visto que há muitas opiniões divergentes sobre este tema, principalmente sobre a mensuração dos efeitos adversos das emissões dos chamados gases de efeito estufa.

O chamado efeito estufa compreende basicamente dois aspectos: o primeiro é chamado de efeito primário e existe há milhares de anos, e dá ao planeta sua característica essencial para a possibilidade de vida humana – a temperatura média de 17 °C na superfície. E o segundo efeito, chamado de secundário, está presente há cerca de 250 a 300 anos, e é causado por um aumento na concentração dos GEE, dos quais o principal responsável pelo aumento é o ser humano e suas atividades antrópicas, e é esta participação humana que causou o aumento em 1 °C da temperatura do planeta desde meados do século XIX (TUCKETT, 2018).

No caso do efeito secundário, o causado pelas ações antrópicas, as ações humanas fazem com que ocorram mudanças na composição atmosférica, o que causa

modificações no clima terrestre. Estas alterações na atmosfera podem acontecer de duas formas, segundo Kirk-Davidoff (2017): transformações nos gases moleculares que fazem interação com a radiação infravermelha; e mudança nos aerossóis (em pequenas partículas líquidas ou sólidas) que fazem o trabalho de absorção e reflexão da radiação invisível. Ainda há o ozônio (O_3), que se forma naturalmente na atmosfera, interagindo com a radiação ultravioleta e infravermelha, e que tem sua concentração alterada substancialmente pelas emissões humanas de poluentes.

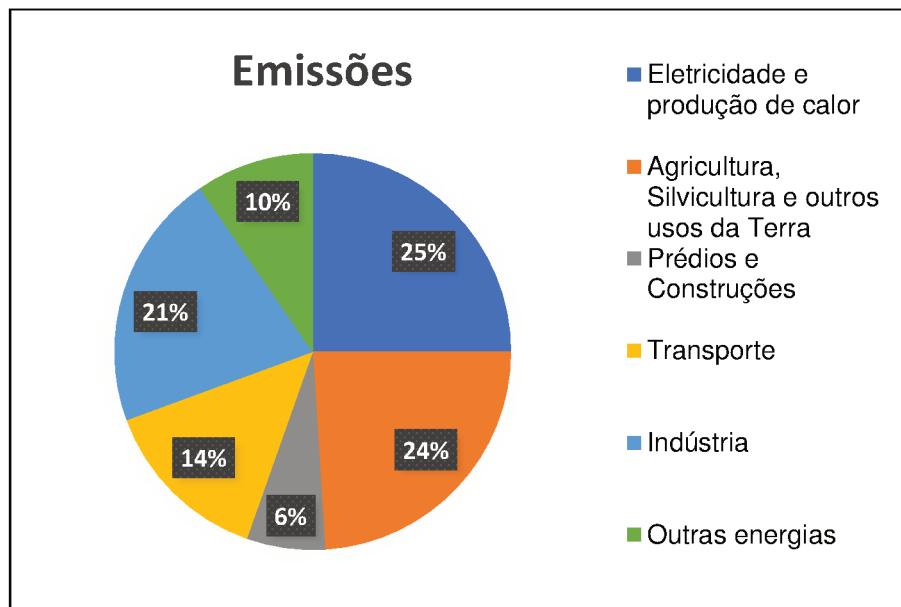
O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) faz com que aumente a absorção de radiação infravermelha que sai da superfície da Terra, ou seja, a radiação solar que entra na atmosfera e é refletida pela superfície não consegue retornar ao espaço – sendo retida pelos GEE - portanto, fica “presa” dentro da nossa atmosfera, o que faz com que ocorra o aumento da temperatura média terrestre além dos limites normais (KIRK-DAVIDOFF, 2017).

Este aumento é provenientes das atividades de três fontes: a indústria, na queima de combustíveis fósseis como o carvão para geração de energia; a agricultura, na mudança do uso da terra com a queima de florestas e desmatamento; e principalmente no transporte individual e coletivo, na queima de combustíveis provenientes do petróleo como gasolina, diesel e querosene (KIRK-DAVIDOFF, 2017).

As emissões antropogênicas de gases de efeito estufa vem provocando grande aumento nas concentrações de GEE, principalmente de dióxido de carbono (CO_2), emitido através da queima de carvão e dos combustíveis fósseis. O CO_2 é removido da atmosfera a partir dos processos de fotossíntese nas plantas, e devolvido a partir dos processos naturais de respiração e decomposição de matéria orgânica. Este era um fluxo em equilíbrio antes da era industrial, porém, desde o aumento das emissões antropogênicas, houve um incremento significativo da concentração de CO_2 na atmosfera. O CO_2 é o mais importante gás de efeito estufa, abrangendo 82% dos GEE, segundo o IPCC (CLOY; SMITH, 2018).

A Figura 1 ilustra as emissões de gases de efeito estufa no mundo, em divisão por setores econômicos, segundo o último relatório do IPCC.

Figura 1 - Emissões de GEE no mundo por setores econômicos.



Fonte: Adaptado de (IPCC, 2015).

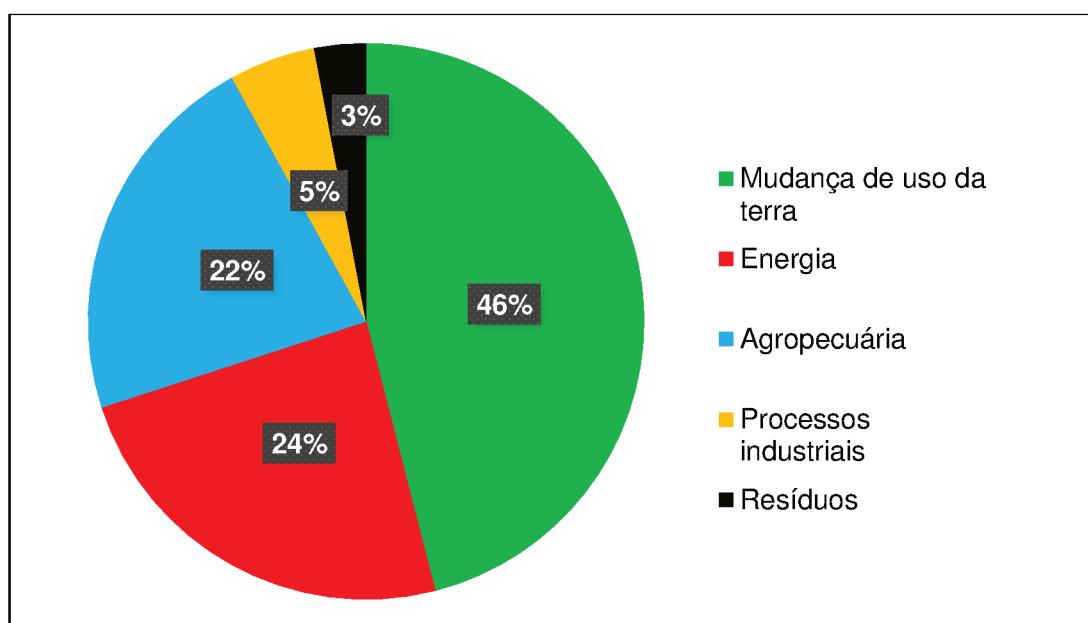
Além da emissão de CO₂, ainda há o metano (CH₄), originário de sistemas de produção animal, queima de biomassas como florestas, carvão vegetal e madeira, na decomposição de material orgânico e emissões durante a extração e transporte de combustíveis fósseis; e o óxido nitroso (N₂O), emitido a partir do solo, nos processos de agricultura. Desde a era pré-industrial, 40% das emissões ficaram na atmosfera e o restante foi retirado ou armazenado em terra (em plantas e solo); o oceano absorveu cerca de 30% do CO₂ antropogênico emitido, o que causou acidificação das águas (IPCC, 2015). Ainda há outros gases que contribuem para o cenário descrito, como o ozônio troposférico (O₃), o óxido nítrico (NO), o dióxido de enxofre (SO₂), provenientes dos aerossóis e de sistemas de refrigeração presentes em diversos produtos e utensílios domésticos.

Segundo Olivier et al, (2016) o Brasil era o nono país no ranking de maiores países emissores de CO₂ no ano de 2013, quando a queima de produtos derivados do petróleo representou 70% do total das emissões do país, dos quais 40% se deveu aos combustíveis de transporte rodoviário. Apenas 17% das emissões daquele ano foram relacionadas ao setor energético para geração de energia, devido a grande participação das hidrelétricas na geração de eletricidade brasileira.

Estudos mais recentes ainda colocam o Brasil como um dos dez países maiores emissores de CO₂, como destaca Zheng et al., (2019), que analisa dados dos países do G7 e do BRICS. O trabalho faz uma análise dos países em termos de emissões, políticas de mitigação e tendências de desenvolvimento, colocando o Brasil no meio do ranking de emissões e no topo do ranking de tendências de desenvolvimento e políticas de mitigação.

A Figura 2 mostra as emissões brasileiras de GEE por setor, no ano de 2015.

Figura 2 - Emissões brasileiras de GEE por setores econômicos.



Fonte: Adaptado de (IEMA, 2017).

Em 2017, as emissões atmosféricas brasileiras associadas a matriz energética atingiram 435,80 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, dos quais 45,8% foram emitidas pelo setor de transportes, com o uso dos combustíveis fósseis. Porém, é uma emissão não tanto significativa quando comparada a de outros países. A emissão de CO₂ brasileira per capita, ou seja, por habitante, é a menor entre os países industrializados, ficando atrás dos EUA, China, e de toda a União Européia (EPE, 2018).

A diferença se dá exatamente sobre qual setor emite mais. No Brasil, o setor de transportes se consolidou como o segundo maior setor emissor de GEE, mesmo com o crescimento do uso dos combustíveis renováveis como o biodiesel; e já no restante do mundo, o maior responsável pela emissão dos GEE é o setor de geração de energia elétrica, responsável por cerca de 42%, enquanto que no Brasil, este setor representa somente 20% das emissões atmosféricas (IEMA, 2017).

1.3 Principais consequências das emissões de GEE

Mudanças climáticas são fatores conhecidos do nosso planeta. Desde grandes eras glaciais, eras de formações continentais e eras vulcânicas, o planeta passou por diversas mudanças climáticas importantes até chegar ao ponto que é conhecido hoje. Como visto, a influência humana nos sistemas climáticos é clara, e as recentes emissões antropogênicas de GEE são as mais altas da história. Estas emissões que geraram as mudanças climáticas tiveram impactos generalizados nos sistemas humanos e também nos sistemas naturais, principalmente (IPCC, 2015).

O aquecimento global é a mais comum e conhecida consequência das ações antrópicas. Porém, este efeito se manifesta de forma diversa, não seguindo uma uniformidade, então diferentes lugares do globo sofrem de forma distinta. Também acontece de forma específica nos oceanos e na superfície terrestre, pois eles reagem

de forma diferente ao aumento dos GEE e ao aumento da radiação infravermelha recebida pela terra. O aquecimento é maior na superfície terrestre. Isso ocorre por duas razões: primeiramente porque o oceano tem maior capacidade de lidar com o calor, porque a água pode se mover e misturar o calor da superfície, enquanto o solo só consegue difundir o calor lentamente através da superfície terrestre e das rochas; e segundo, porque a evaporação do oceano permite que mais calor seja transportado das águas do oceano, do que pela mistura turbulenta do calor sozinho, embora isso também possa ocorrer em solos úmidos, acontecendo porém de forma menos eficaz, pois os solos não são totalmente saturados e assim ocorre menor evaporação (KIRK-DAVIDOFF, 2017).

Em 2015 o mundo já se encontrava 1º C mais quente que as temperaturas médias pré-industriais, onde ainda não havia o consumo em massa das fontes de energia de origem fóssil. Se este acréscimo chegar a 2°C, o aumento da temperatura na superfície terrestre pode causar danos a um número de pessoas duas vezes maior do que o atual, atingindo principalmente pessoas em situações de pobreza, que estão mais vulneráveis a riscos de mudanças climáticas (BYERS; GIDDEN; LECL, 2018).

Segundo o IPCC (2015) “cada uma das últimas três décadas tem sido sucessivamente mais quente na superfície da Terra do que em qualquer década anterior desde 1850” e ainda mais alarmante: no Hemisfério Norte, o período entre 1983 e 2012 foi provavelmente o período de 30 anos mais quente dos últimos 800 anos, com dados de alta confiança.

Outra consequência visível do aquecimento global nos dias atuais pode ser vista nos oceanos. Com a superfície terrestre mais quente, as camadas superficiais dos oceanos também são mais quentes, o que implica em uma diferença de densidade, onde a água quente ocupa mais espaço do que a água mais fria, portanto, é esperado que haja uma elevação do nível dos mares. Desde meados do século XX, o nível do mar subiu cerca de 15 centímetros. Associa-se este fato ao das geleiras estarem diminuindo em todo o mundo, o que contribuiu com cerca de 1 cm de incremento no nível do mar, desde 1960. Além do aumento da temperatura da água

dos oceanos, outro evento que contribui para o derretimento glacial é o aquecimento do ar, que faz com que camadas continentais de gelo literalmente se desafixem do continente. Este processo se dá principalmente na Groenlândia e na Antártida (KIRK-DAVIDOFF, 2017).

O aquecimento dos oceanos se dá principalmente nos 75 metros superiores, onde houve aquecimento de 0,11 [0,09 a 0,13] °C por década no período entre 1971 e 2010. Sendo assim, é praticamente certo que o oceano superior, até a faixa de 700 metros, teve um aquecimento nesse período, e provavelmente também aqueceu durante o período entre 1870 e 1971 (IPCC, 2015).

Existem ainda mudanças relacionadas ao aquecimento global nos sistemas naturais e humanos em todos os continentes, além dos oceanos. Embora se manifestem de forma diferente em cada local (devido as características próprias de diferentes locais do globo) os impactos se devem às mudanças climáticas independente da causa, o que implica dizer que há bastante sensibilidade dos sistemas naturais e humanos às mudanças climáticas (IPCC, 2015).

Segundo o IPCC (2015), as seguintes mudanças nos sistemas naturais e humanos também são consequências do aquecimento global:

- Mudanças na precipitação ou no derretimento de gelo e neve que causam alterações nos sistemas hidrológicos, afetando as reservas de recursos hídricos em qualidade e quantidade;
- Muitas espécies terrestres de água doce e marinhas mudaram seus padrões de migração, suas faixas geográficas e atividades sazonais devido as mudanças climáticas;
- Avaliação de diferentes estudos abrangendo um amplo espectro de regiões e culturas que indicam consequências negativas das mudanças climáticas no rendimento de cultivares, como milho e trigo;
- Embora não haja muitos dados disponíveis sobre as mudanças climáticas e suas consequências em doenças humanas, houve aumento

da mortalidade relacionada ao calor, e diminuição da mortalidade relacionada ao frio em algumas regiões; mudanças na precipitação também podem incrementar o risco de doenças transmitidas pela água e vetores;

Algumas destas consequências já são bastante discutidas e conhecidas, porém, a maioria ainda é de difícil detecção e mensuramento. Embora haja dificuldade em medir, há grande preocupação – já materializada em ações em alguns países - em mitigar estes impactos, mesmo os não conhecidos.

1.4 Propostas de mitigação dos impactos do aquecimento global e extinção/redução das emissões de GEE

Diversas medidas já foram tomadas e propostas diante da preocupação com as consequências da emissão de gases de efeito estufa e o aquecimento global e muitos deles são provenientes de acordos e tratados internacionais. Acordos climáticos mundiais são estabelecidos desde a década de 1970, com a finalidade de reduzir emissões atmosféricas e mitigar os seus impactos, o que implica em dar responsabilidade aos países, num esforço diplomático para reduzir as mudanças climáticas.

O primeiro acordo (ou conferência) se deu em 1972, e após ele várias reuniões, conferências, painéis, plataformas, mandatos e protocolos foram realizados com a temática das mudanças climáticas. Os acordos de maior destaque e conhecimento comum foram a ECO 92, que teve participação de 172 países; o protocolo de Kyoto, que estabeleceu metas e objetivos específicos para reduzir a emissão de gases de efeito estufa em 37 países industrializados, que foram considerados os responsáveis pela poluição ambiental da atmosfera nos últimos 150 anos da data do protocolo

(1997); e o acordo de Paris, que foi assinado no ano de 2016, com ratificação de 196 países (QUADROS, 2017).

As medidas previstas no acordo de Paris – atualmente em vigor - seguem consoantes com as medidas propostas anteriormente no Protocolo de Kyoto, acordado pelos países. O principal ponto destacado foi o aspecto de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo dos 2º C acima dos níveis pré-industriais, com esforços de todos os países para que este aumento seja limitado em 1,5º C dos níveis pré-industriais; o que, por consenso, reduziria de forma significativa os impactos e riscos das mudanças climáticas (ONU, 2015).

De acordo com isso, o IPCC reforça que é provável que o aquecimento global atinja níveis de 1,5 °C entre os anos de 2030 e 2052, se as emissões continuarem na taxa atual, portanto, são necessárias medidas de longo e curto prazo para mitigação destes impactos e controle do aquecimento (IPCC, 2018).

Alguns países definiram metas específicas para cumprir com o estabelecido no acordo. Estes compromissos são firmados por meio de contribuições nacionalmente determinadas pretendidas, chamadas de iNDC's, que norteiam as ações a serem tomadas pelos países, na busca da redução das emissões de GEE. Basicamente todas fazem referência a este quesito.

A Tabela 2 mostra algumas iNDC's, propostas por diferentes países que foram submetidas a convenção quadro das Nações Unidas sobre a mudança do clima (UNFCCC) em 2015.

Importante ressaltar que todas as iNDC's precisam passar por aprovação segundo a ordem legislativa de cada país, para que tomem assim o caráter de uma contribuição nacionalmente determinada - NDC, e dessa forma podem ser implementadas de forma efetiva dentro de cada nacionalidade, seguindo o que foi apresentado anteriormente sob a forma de iNDC.

Tabela 2 - Propostas de redução de emissão de GEE de diferentes países.

União Européia	Reducir as emissões domésticas de GEE em pelo menos 40% abaixo dos níveis de 1990 até o ano de 2030.
Noruega	Reducir as emissões de GEE em pelo menos 40% em comparação com os níveis de 1990 até 2030.
México	Reducir a emissão de gases poluentes e emissões de poluentes climáticos de vida curta de forma incondicional em 25% até 2030, em relação a um cenário normal.
Estados Unidos	Reducir as emissões de GEE de 26% a 28% abaixo dos níveis de 2005 até o ano de 2025.
Gabão	Reducir as emissões de CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O em pelo menos 50% em relação a um cenário de referência até 2025.
Rússia	Reducir as emissões antropogênicas de GEE de 25% a 30% abaixo dos níveis de 1990 até o ano de 2030, dependendo a máxima conta possível de capacidade de absorção das florestas.
Liechtenstein	Reducir as emissões de GEE em 40% em comparação com o ano de 1990 até o ano de 2030.
Andorra	Reducir as emissões de GEE em 37% até 2030 em um cenário normal.

Fonte: Adaptado de (IEA, 2015).

O Brasil também registrou sua iNDC em 2015 para cumprimento das metas estabelecidas no acordo de Paris. Em 2016, a iNDC passou a ser NDC, deixando de ser apenas uma pretensão e tomando caráter de contribuição nacionalmente determinada.

A NDC brasileira pretende, segundo o IEEMA (2017):

“(...) o Brasil pretende comprometer-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. ”

Importante destacar que há várias metas setoriais dentro do documento que apresentou a NDC brasileira, como mostra o IEMA (2017):

- No setor da energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis dentro da matriz energética em 2030;

A participação das energias renováveis na matriz energética brasileira é uma das maiores do mundo, chegando a 41% no ano de 2015; e 43,2% no ano de 2017, segundo o balanço energético do ano, enquanto no mundo somente 13,5% era de origem renovável, em 2015 (EPE, 2018).

- Expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030;

Embora esta meta já estivesse sendo cumprida em 2017, com 31,2% (somadas biomassa de cana, lenha e carvão vegetal e lixívia e outras renováveis) segundo a EPE (2018); para que a meta seja cumprida em 2030, esta participação ainda precisa de crescimento que partirá de duas alternativas principais: aumento na participação do uso de bioenergia sustentável e da participação de fontes renováveis não hídricas na matriz elétrica, que são também explicitadas em forma de metas na NDC.

- Aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030;
- Para o biodiesel: biodiesel B7 em 2025 e B10 em 2030;

O teor de biodiesel utilizado em mistura com o diesel fóssil já atingiu o teor previsto para 2030, o B10, de 10%, no mês de março de 2018 (ANP, 2018). Em setembro de 2019, passou a vigorar de forma oficial o teor de 11% ou B11.

- Para o etanol: Produção de 45 bilhões de litros em 2025 e 54 bilhões de litros em 2030.

A produção brasileira de etanol está em constante crescimento, totalizando 27,76 bilhões de litros produzidos na safra 2017/2018 (CONAB, 2018). Embora a produção esteja em grande expansão e crescimento, para atingir a meta proposta em 2025 é necessário um empenho enorme dos setores de produção.

1.5 Fontes de energia de biomassa

A biomassa tem surgido como uma ótima alternativa para suprir as demandas energéticas mundiais de um modo sustentável, visto que pode ser obtida de origem vegetal ou animal e de diferentes materiais e produtos que antes não tinham valor ou emprego energético. Seja para geração de calor, eletricidade, produção de combustíveis (biocombustíveis), insumos industriais e solventes, a biomassa tem desempenhado um papel de grande importância na sociedade atual (DA ROCHA et al., 2013).

Uma definição muito precisa do que é a energia de biomassa é a definição descrita pelo autor Oliveira et al (2018) que diz que “a biomassa é definida como qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal com potencial para produção de energia a partir de processos de combustão, excluindo-se quaisquer combustíveis de origem fóssil.”

O grande trunfo de se gerar energia através da biomassa é a utilização de materiais que seriam descartados e que agora tem uma finalidade energética. As produções atuais mais consolidadas têm como objetivo a geração de energia elétrica ou a produção de biocombustíveis – principalmente biodiesel e etanol (OLIVEIRA et al., 2018).

1.5.1 Biomassa como fonte para produção de Biocombustíveis

Devido a grande preocupação contemporânea em reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, o uso dos biocombustíveis tem sido cada vez mais implementado em diferentes países, e a produção tem crescido exponencialmente, como acontece no Brasil. A necessidade de alternativas renováveis, sustentáveis, eficientes energeticamente e em custo benefício faz com que os biocombustíveis sejam uma opção incrivelmente viável para melhorar o cenário de degradação ambiental atual. Além disso, contribui ainda para reduzir a dependência do petróleo, e em países que podem produzir os biocombustíveis de forma doméstica, os benefícios também são vistos sob o ponto de vista de redução da importação de petróleo.

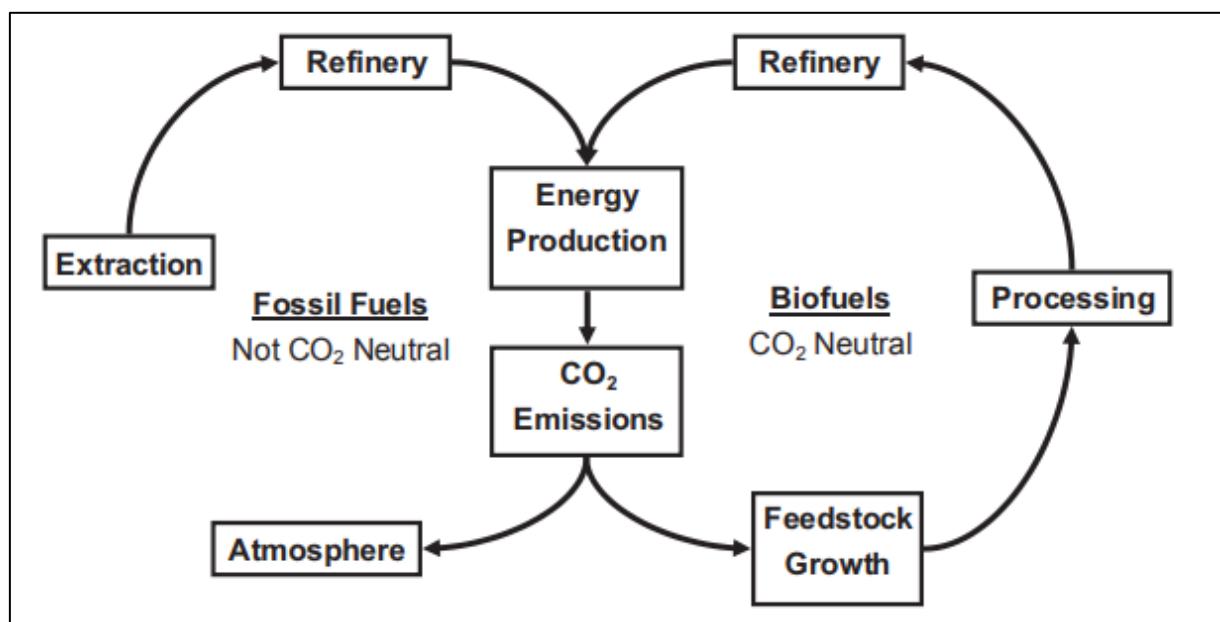
O único recurso natural de carbono renovável conhecido que possui porte suficiente para substituir os combustíveis fósseis é a biomassa. Dentro das matérias primas incluídas como biomassa temos todos os organismos baseados em água e terra, vegetações e árvores, ou biomassa virgem; e todos os resíduos sólidos urbanos, biossólidos provenientes de esgotos, resíduos animais, florestais, agrícolas e industriais. A biomassa é renovável no sentido de que somente um curto período de tempo é necessário para sua formação, ao contrário dos combustíveis fósseis, que precisam de milhões de anos para formação. Além disso, estima-se que o carbono de biomassa terrestre permanente do mundo, ou seja, aquele acima da superfície disponível para uso energético, é aproximadamente 100 vezes maior que o consumo de energia mundial. Esta biomassa está concentrada principalmente sob a forma de biomassa florestal, contendo cerca de 80 a 90% do carbono de biomassa total de superfície (KLASS, 2004).

Além disso, se a biomassa é utilizada como combustível, a emissão líquida de carbono para o meio ambiente é zero, uma vez que a biomassa absorve em seu processo de crescimento uma quantidade de carbono igual a quantidade emitida na

queima desta mesma biomassa se utilizada como biocombustível. Outro fator importante é o baixíssimo teor de enxofre nas biomassas, portanto a emissão de dióxido de enxofre (SO_2) também é bem menor em relação aos combustíveis fósseis (LOHA et al., 2019).

Segundo Choung et al., (2018), se levarmos em conta o ciclo de carbono, o dióxido de carbono (CO_2) emitido da combustão de combustíveis fósseis é descarregado diretamente na atmosfera sem reciclagem. Por outro lado, os biocombustíveis são potencialmente neutros em carbono, à medida que o CO_2 produzido pelo processo de combustão é reabsorvido para o crescimento das plantas. A Figura 3 evidencia o ciclo de dióxido de carbono dos combustíveis fósseis e também dos biocombustíveis.

Figura 3 - Comparação do ciclo de vida do dióxido de carbono entre combustíveis fósseis e biocombustíveis.



Fonte: (CHOUNG et al., 2018).

Segundo Roberto; Prudêncio (2012) podemos definir os biocombustíveis como sendo compostos derivados de materiais agrícolas como plantas oleaginosas, cana-de-açúcar e ainda de outros materiais orgânicos.

A classificação mais comum dos biocombustíveis os separa em dois grupos, chamados de primeira e segunda geração. Porém, há ainda outra classificação, proposta por Renzaho; Kamara; Toole (2017) que separa os biocombustíveis até a quarta geração, englobando processos que ainda estão em fase de desenvolvimento, como segue:

- **Primeira geração:** Aqueles obtidos a partir do processo de transesterificação, ou conversão química de óleos (vegetais ou animais), no caso do biodiesel; ou ainda aqueles obtidos através de fermentação, como o bioetanol e o butanol. As matérias-primas são basicamente culturas oleaginosas e gorduras animais.
- **Segunda geração:** Aqueles provenientes de biomassa lignocelulósica, que fazem o aproveitamento da celulose e das hemiceluloses, utilizando-se de subprodutos como matéria-prima, como o bagaço e palha de cana-de-açúcar, casca de arroz, resíduos orgânicos, resíduos agroflorestais, entre outros para produção de bioetanol – ou também chamado de etanol de segunda geração (2G), para o caso específico de produção a partir de material de biomassa lignocelulósica.
- **Terceira geração:** Biocombustíveis baseados em processos microbiológicos, que fazem uso de fungos e algas, envolvendo processo de engenharia genética. As algas podem produzir biodiesel, bioetanol, biogás e combustíveis de aviação.
- **Quarta geração:** Foco em matérias-primas geneticamente modificadas, que além de reduzir a emissão de GEE no seu uso como combustível, também

reduzem o impacto ambiental através de modificações genéticas nas fontes de matéria-prima da biomassa (culturas), que se tornam capazes de captar ainda mais CO₂ da atmosfera.

1.6 Bioquerosene

O setor de aviação contribui ativamente para o total das emissões atmosféricas antropogênicas anuais de CO₂, sendo responsável por um percentual de 2,6% do total das emissões. Além disso, o setor de aviação comercial segue crescendo numa faixa de aproximadamente 5% ao ano (STAPLES et al., 2018). Assim, buscam-se alternativas para redução das emissões atmosféricas do setor.

Um dos biocombustíveis de grande importância atualmente é o bioquerosene, mais conhecido como biocombustível de aviação por conta do seu uso como combustível em aeronaves. O bioquerosene traz diversos ganhos ambientais: na forma de redução da emissão dos GEE; ganhos econômicos uma vez que a produção tende a ser mais barata; do ponto de vista de renovabilidade pela capacidade renovável da biomassa – que não compete com a segurança alimentar - e também é avaliado de forma positiva na redução da dependência dos preços do petróleo (BONASSA et al., 2014).

Uma grande vantagem aqui – e também dos outros biocombustíveis - é que a matéria-prima está disponível em todo o mundo, portanto a produção não está limitada localmente. Para o bioquerosene, porém, é necessário que o combustível possua propriedades semelhantes ao querosene mineral, como bom desempenho a baixas temperaturas, baixo ponto de fulgor, boa estabilidade térmica, entre outros (KANDARAMATH HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015).

É sabido que o setor de transportes é um dos principais responsáveis pela emissão dos GEE, visto que o uso dos combustíveis fósseis cresce cada vez mais no

setor, incluindo o setor de aviação. Particularmente, o setor de transportes em 2014 demandou 2.627,02 milhões de toneladas de óleo equivalente, representando 27,9% do total de energia produzida no mundo àquela época; além disso, estima-se que o consumo de energia neste setor se intensificará na ordem de 80 a 130% nas próximas décadas de 2010 a 2050, o que representaria um crescimento da participação do setor de transportes nas emissões de 16% para 79%. Este cenário está consoante a uma duplicação do tráfego aéreo internacional, juntamente com o aumento de 50% do transporte rodoviário de mercadorias; o que implica no crescimento da demanda e do consumo principalmente de diesel e de combustíveis de aviação como o querosene (GUTIÉRREZ-ANTONIO et al., 2017).

As emissões de GEE do setor de aviação civil internacional representam cerca de 2% das emissões antrópicas totais. Mesmo sem haver metas setoriais específicas, diversas ações estão sendo realizadas para reduzir as emissões do setor, tanto em âmbito doméstico (brasileiro) como no cenário internacional (ANAC, 2015).

A ICAO – Organização da Aviação Civil Internacional – é quem tem a responsabilidade de coordenar as ações dos países no tocante a redução das emissões atmosféricas. Dentre as propostas estabelecidas, destaca-se a recomendação aos países participantes da ICAO o compromisso voluntário na melhoria de 2% ao ano em eficiência energética, tendo o ano de 2010 como base; ação proposta pela Assembleia número 38 realizada em 2013 (ANAC, 2015).

No Brasil, a responsabilidade sobre a aviação civil é da ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. Dados da agência indicam que 60% do consumo de QAV destina-se a transportes domésticos, enquanto os outros 40% são para voos internacionais; o consumo doméstico atingiu 3.578.031.940 kg de QAV em 2015, e o consumo para voos internacionais atingiu 2.370.299.968 kg (ANAC, 2015).

Mais recentemente, dados da ANP indicam que o consumo brasileiro de QAV atingiu 6,637 bilhões de litros no ano de 2017 (ANP, 2018).

Visto o grande consumo de querosene mineral no atual mercado de aviação civil brasileiro, é necessário buscar alternativas que contribuam positivamente na redução das emissões atmosféricas e que também sejam alternativas renováveis. Nesse sentido, o principal foco é a atuação dos biocombustíveis. Porém, há outras medidas que contribuem para a redução, que já estão em funcionamento ou em fase de implantação, conforme relata a ANAC. A preocupação em abater as emissões das estruturas dos aeroportos é um ponto bastante positivo e demonstra a preocupação brasileira na redução das emissões de GEE de todas as fontes, não somente dos combustíveis. Segundo a ANAC (2015), a INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – já estabeleceu em alguns aeroportos medidas para redução das emissões, como por exemplo: plantas de geração de energia solar; ônibus elétricos para transporte de passageiros; melhorar a eficiência dos processos operacionais para reduzir o consumo de combustível; utilização de biodiesel e etanol na frota de veículos; otimização dos sistemas de ar; otimização dos sistemas de iluminação; reciclagem de resíduos; e investimentos em conscientização ambiental.

Para o caso da redução das emissões relacionadas a queima do querosene, uma alternativa bastante viável e de bons resultados é o investimento em biocombustíveis, como o bioquerosene.

Os investimentos em *Alternative Jet Fuels* (AJF), como o bioquerosene, podem representar redução nas emissões de GEE do setor na ordem de 68,1% em 2050. Os cenários para esta redução, porém, implicam inevitavelmente em preços e políticas que enfatizem a produção de AJF em relação a outros usos de biomassa; investimentos em infraestrutura de biorrefinarias e aumento significativo do capital de investimento no setor (STAPLES et al., 2018).

Grande parte dos biocombustíveis é derivado de óleos vegetais, principalmente o biodiesel. Para o caso do bioquerosene (se a rota de produção utilizada for por meio da utilização de um óleo vegetal) uma das características mais importantes (que tem impacto direto em todas as outras) é a composição de ácidos graxos. Ácidos de cadeias carbônicas curtas dos óleos utilizados necessariamente precisam se

assemelhar a composição do querosene derivado do petróleo, variando de 6 a 14 átomos de carbono (FREIRE, 2014).

No Brasil, a Lei número 12.490 de 16 de setembro de 2011 define o bioquerosene de aviação como sendo, segundo Brasil (2011):

“Substância derivada de biomassa renovável que pode ser usada em turborreatores e turbopropulsores aeronáuticos ou, conforme regulamento, em outro tipo de aplicação que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil.”

No ano de 2019 surgiu uma nova definição para o bioquerosene, enquadrado na definição de “querosene de aviação alternativo” pela Resolução nº 779 de 5 de abril de 2019, definindo-o como “combustível derivado de fontes alternativas, como biomassa, gases residuais, resíduos sólidos, carvão e gás natural, produzido pelos processos que atendam ao estabelecido em resolução da ANP” (MMA; ANP, 2019b).

Também introduziu o termo “querosene de aviação C” ou simplesmente QAV-C, que trata das misturas entre o querosene mineral e o querosene alternativo e é definido como sendo “combustível destinado exclusivamente ao consumo em turbinas de aeronaves, composto por um único tipo de querosene de aviação alternativo misturado ao querosene de aviação (QAV-1) nas proporções máximas definidas em resolução da ANP” (MMA; ANP, 2019b).

A regulamentação brasileira é realizada pela ANP, principalmente por meio de resoluções que definem os parâmetros a serem atendidos bem como todas as especificações necessárias para o uso na forma de mistura com o querosene mineral comercial ou de forma direta. Por se tratar de um combustível utilizado em aeronaves, que tem papel de grande importância no transporte de cargas e pessoas, as especificações e restrições são bem mais rigorosas que outros biocombustíveis – e necessariamente precisam ser - visto o alto grau de mortalidade num possível acidente aéreo. Além disso, as condições onde ocorre a combustão do combustível são extremas, e não há espaço para erros. É necessário ainda que o biocombustível

produzido para a utilização na aviação seja compatível com os motores, propulsores, turbinas e tecnologias já existentes.

Por meio da Resolução número 778 de 5 de abril de 2019 a ANP estabelece todas as especificações do querosene de aviação, do querosene de aviação alternativo e também do querosene de aviação QAV-C, além das obrigações quanto ao controle de qualidade para comércio do produto em território nacional.

Nesta resolução as especificações tratam do querosene parafínico hidroprocessado e sintetizado por Fischer-Tropsch (SPK-FT); o outro querosene parafínico sintetizado por ácidos graxos e ésteres hidroprocessados (SPK-HEFA), o querosene parafínico sintetizado com aromáticos (SPK/A), o querosene parafínico sintetizado por álcool (SPK-ATJ) e iso-parafinas sintetizadas de açúcares fermentados e hidroprocessados (SIP). Também é descrito o volume máximo de mistura para cada tipo de processo de produção.

Porém, há outras rotas de produção que não são especificadas pela ANP. Um exemplo é a rota de produção de bioquerosene a partir da destilação do biodiesel após uma transesterificação de um óleo vegetal, para obter uma fase leve, rica em ésteres metílicos de ácidos graxos, chamados de FAME (*fatty acids methyl esters*), de cadeia carbônica curta - fase que é chamada de biodiesel leve - que é a rota utilizada neste trabalho. Sendo assim, como não há parâmetros específicos para a rota de produção utilizada, utiliza-se a Resolução 778 tendo em mente os parâmetros para o querosene mineral e para as misturas entre o querosene mineral e querosenes alternativos. Dessa forma, foram observados os parâmetros estabelecidos na Tabela I da Resolução referida, que contém especificações do QAV-1 e do QAV-C, que é apresentada no Anexo I.

A IATA – Associação Internacional de Transporte Aéreo – classifica os combustíveis alternativos não derivados do petróleo que possuem características semelhantes ao querosene mineral no grupo de “combustíveis de aviação alternativos” – AJF - onde se encontram os biocombustíveis derivados dos métodos citados anteriormente. Internacionalmente, todos os combustíveis de aviação

precisam atender especificações padrão rigorosas antes de serem aprovadas para comercialização. A norma ASTM D1655 nos EUA e a norma DEF STAN 91-91 no Ministério Britânico de Defesa (MOD) no Reino Unido são os dois padrões mais comumente utilizados para combustíveis para aviação. A norma ASTM D7566 trata sobre as especificações de combustíveis de aviação que contém hidrocarbonetos sintetizados, como SPK-HEFA, SPK-FT, SPK-ATJ, SPK-A e SIP (YANG et al., 2019).

Porém, os processos envolvendo a produção de ésteres alquílicos de ácidos graxos por uma transesterificação catalisada de óleos vegetais, não estão no grupo de “AJF’s” muito provavelmente devido a produção de somente biodiesel por esta rota, e não bioquerosene (VIEIRA et al., 2011). Portanto, do mesmo modo que para a ANP, a especificação internacional utilizada trata do querosene mineral, neste caso, utilizando a norma da ASTM número D1655, que é listada no Anexo II. Os biocombustíveis devem ser certificados como equivalentes às especificações ASTM D1655, a fim de alcançar uma compatibilidade desejável com a frota de aeronaves existente (YANG et al., 2019).

Outra questão é a nomenclatura do produto obtido, que por vezes não é considerado como bioquerosene, por se tratar de um processo distinto que envolve uma produção de ésteres leves, então convencionou-se nomeá-lo como biodiesel leve neste trabalho.

No caso da produção envolvendo os óleos vegetais como matéria-prima para o biodiesel (que é destilado para obter o biodiesel leve), a principal característica a se observar é a composição de FAME, que preferencialmente devem ser leves (cadeias carbônicas curtas), entre seis a quatorze átomos de carbono, onde se destacam as culturas de oleaginosas provenientes dos cocos.

Segundo a Patente da Petrobras de identificação WO 2011143728 A1, proposta por Vieira et al (2011), neste processo há basicamente três etapas:

- Escolha da matéria-prima: selecionar uma cultura de oleaginosa com óleos leves para produção do biodiesel que seja rica em glicerídeos contendo cadeias de seis a quatorze átomos de carbono;
- Condições do processamento: sistema de reação dimensionado para reter toda a glicerina formada na transesterificação e ter controle do teor de água e acidez do biodiesel produzido, a fim de atender as especificações para o biodiesel. Realizar um procedimento de purificação, para remover o excesso de álcool, catalisador residual, sabão e outros contaminantes. Após o material é tratado em torre de destilação a vácuo onde ocorre o fracionamento dos ésteres alquílicos, separando-se a fração leve de ácidos graxos de 6 a 14 átomos de carbono.
- Controle de determinadas características do produto: verificar a conformidade das propriedades do bioquerosene produzido com as normas regulamentadoras e as especificações das agências nacionais e internacionais.

1.6.1 Matérias-primas para produção de biodiesel leve

Diversas fontes oleaginosas podem ser utilizadas para a produção do biodiesel leve. Porém todas elas visam um objetivo em comum: a produção de um produto rico em FAME's. Portanto é de extrema importância que os óleos utilizados sejam ricos em ácidos graxos com essa característica.

Neste sentido, algumas oleaginosa se destacam mais, como é o caso dos óleos provenientes das famílias das palmeiras, que tem por característica a presença de ácidos graxos leves em seus óleos.

A Tabela 3 mostra a composição de ácidos graxos de algumas oleaginosas.

Tabela 3 - Composição em ácidos graxos de oleaginosas.

Ácidos graxos	Óleo de Palma (%)	Óleo de Jatropha (%)	Óleo de Soja (%)	Óleo de Babaçu (%)	Óleo de Macaúba (%)
Caprílico (C8:0)	-	-	-	5,5	2,10
Cáprico (C10:0)	-	-	-	5,5	3,72
Láurico (C12:0)	1,1	-	0,1	43	38,89
Mirístico (C14:0)	1	0,5 a 1,4	10,8	16	11,00
Palmítico (C16:0)	40,7	12 a 17	0,3	9	17,35
Esteárico (C18:0)	5	5 a 9,5	4	3,5	4,34
Oléico (C18:1)	42	37 a 63	23,8	15	22,60
Linoléico (C18:2)	10,2	19 a 41	53,3	2,6	-
Linolênico (C18:3)	-	-	7,6	-	-

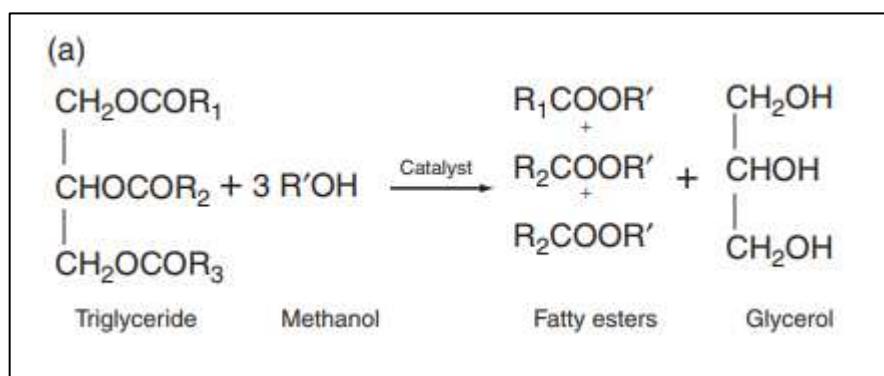
Fonte: Adaptado de (GRIMALDI; GONÇALVES; ANDO, 2005); (SILVA, 2012 apud GABRIEL, 2015); (Eskin & Mc Donald, 2005 apud CICONINI, 2012); (ROSSEL, 1993 apud ANTONIASSI; CHAVES; MACHADO, 2006); (FORTES; BAUGH, 2004).

A principal rota de produção do biodiesel é através de um processo químico denominado transesterificação. A transesterificação pode ser realizada utilizando catálise alcalina, ácida ou enzimática. A reação com catálise alcalina ocorre geralmente utilizando hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH), e acontece aproximadamente 4000 vezes mais rapidamente do que uma reação com a mesma quantidade de catalisador ácido, sendo assim, é a mais utilizada comercialmente. A reação ainda faz uso de um álcool, dos quais podem ser utilizados metanol, etanol, propanol, butanol e álcool amílico, porém os mais utilizados são o metanol e o etanol devido seu baixo custo e suas vantagens físico-químicas (TAMALAMPUDI; FUKUDA, 2011).

A reação consiste em um número de reações reversíveis e consecutivas. O primeiro passo é a conversão de triglicerídeos em diglicerídeos, que é seguida pela conversão de diglicerídeos em monoglicerídeos e destes em glicerol, produzindo uma molécula de metil éster de cada glicerídeo em cada etapa (TAMALAMPUDI; FUKUDA, 2011).

A reação de transesterificação é evidenciada na Figura 4.

Figura 4 - Equação genérica de transesterificação com álcool.



Fonte: (TAMALAMPUDI; FUKUDA, 2011).

Os óleos vegetais são compostos principalmente de triglicerídeos, com cerca de 90 a 98% de sua composição, e ainda diglicerídeos e monoglicerídeos. Os triglicerídeos também chamados de triacilgliceróis contém três moléculas de ácidos graxos e uma molécula de glicerol. Os ácidos graxos variam em seu comprimento de cadeia carbônica e número de ligações duplas presentes em sua estrutura molecular. Há ainda nos óleos vegetais a presença de 1 a 5% de ácidos graxos livres (KOÇAR, 2015; MEIRA et al., 2015 apud KOÇAR, 2017).

Mais de 80 milhões de toneladas de óleos vegetais são produzidos por ano para finalidades comerciais. Porém, a sua utilidade depende da sua composição, por exemplo: o número e as posições das ligações duplas determinam o intervalo de

fusão, e a estabilidade térmica do óleo, enquanto que certo grupo funcional específico pode produzir um ácido graxo próprio para alguma finalidade industrial específica (KINNEY, 2016). Além disso, os tipos de ácidos graxos ligados nos triacilgliceróis também são fatores importantes para o tipo de uso, pois, eles determinam o grau de saturação e insaturação da estrutura molecular, além da maior quantidade um ou outro ácido graxo (KOÇAR, 2017). Dessa forma, cada óleo vegetal possui algumas características específicas, principalmente quanto a composição do óleo, o que tem influência direta na escolha da matéria-prima para a produção de biocombustíveis.

Alguns trabalhos já foram realizados utilizando fontes oleaginosas para produção de bioquerosene e biodiesel leve, utilizando transesterificação e outros processos. Nesse sentido, alguns apresentaram resultados positivos, com bom desempenho do combustível e conformidade com as normas regulamentadoras da ANP e da ASTM.

O trabalho de Rodrigues et al. (2010) utilizou como matéria-prima o óleo da palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) – mesocarpo do fruto, diferente do palmiste que é a castanha do fruto - produzindo o bioquerosene por meio de uma rota de produção via craqueamento térmico catalítico do óleo. Para obtenção da fração leve, o autor realizou uma destilação do produto líquido orgânico proveniente do craqueamento térmico-catalítico. Embora as análises de densidade realizadas nas frações de bioquerosene demonstrassem não conformidade com as regulações – devido a concentração de hidrocarbonetos mais pesados no produto final – o autor concluiu que o processo craqueamento-destilação foi eficiente na produção do bioquerosene proveniente desta matéria-prima.

Utilizando também a palma como matéria-prima, porém trabalhando com a castanha do fruto, o palmiste, o trabalho de Llamas et al. (2012) por meio da produção via transesterificação/destilação e mistura em blends com o querosene mineral, verificou conformidade com a norma da ASTM D1655 para ponto de fumaça, densidade, ponto de fulgor, viscosidade a -20 °C e ponto de congelamento. Porém, o

mesmo material não atingiu o estabelecido pela norma para a característica de poder calorífico.

Outra matéria-prima que pode ser utilizada na produção de bioquerosene é o pinhão manso (*Jatropha curcas*). Embora seu uso seja mais conhecido pela produção de biodiesel, a produção de bioquerosene utilizando o óleo de pinhão manso já foi alvo de estudos acadêmicos.

O pinhão manso pertence a família Euphorbiaceae, da qual também fazem parte a mandioca e a mamona, ambas produtoras de óleo. É uma cultura perene (sem necessidade de replantio), rústica e adaptável a diferentes condições edafoclimáticas. A espécie *Jatropha curcas* está distribuída em todas as regiões tropicais, incluindo o Brasil (ALVES et al., 2008).

Segundo a EMBRAPA (2011), o pinhão manso é uma oleaginosa com bom rendimento e qualidade de óleo favorável a produção de biocombustíveis, adaptabilidade a diferentes regiões de cultivo, longevidade e é considerada como uma das alternativas para atender as demandas de óleo vegetal na produção de biodiesel e bioquerosene.

Uma vez que o óleo do pinhão manso é altamente tóxico, não podendo ser utilizado como fonte de alimentação, sua produção pode ser destinada para finalidades energéticas, não competindo com a produção de alimentos (ARRUDA et al, 2004 apud RANUCCI et al, 2015).

O trabalho de Ranucci et al (2015) estudou a produção de bioquerosene a partir do óleo de pinhão manso, utilizando uma rota de produção via transesterificação para obtenção de biodiesel em via metanólica e tendo como catalisador o hidróxido de sódio. Logo após o biodiesel foi destilado a vácuo para obtenção da fração de ésteres leves. A pesquisa concluiu que o processo de destilação foi eficiente, aumentando a quantidade de ácidos graxos com até 16 átomos de carbonos, bem como uma reação de transesterificação incrivelmente eficiente na conversão em ésteres metílicos de 99,95%. Indica que este método é de grande eficiência na obtenção de ésteres de

cadeia curta que podem ser incorporados no bioquerosene, dependendo apenas do perfil de ácidos graxos do óleo da matéria-prima.

Embora o perfil dos ácidos graxos do pinhão manso não seja a melhor escolha para o bioquerosene, devido a maior abundância de ácidos graxos oléico (C18:1) e linoléico (C18:2), o trabalho é importante para validar a metodologia via transesterificação seguida da destilação do biodiesel para obtenção de ésteres leves.

1.6.2 A oleaginosa *Syagrus oleracea* (mart.) becc

Ainda no campo de oleaginosas que podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de biocombustíveis, mais precisamente biodiesel leve, é importante citar a gueiroba, também chamada de gueroba, guariroba, guarirova, catolé, pati, pati amargosa, e coqueiro amargoso (ISPN, 2013).

A gueiroba é a matéria-prima utilizada neste trabalho. Mais precisamente o óleo extraído de sua amêndoia, para uma produção de biodiesel leve a partir dos ésteres leves por meio do processo de transesterificação, para geração de biodiesel, e posterior destilação, para obtenção dos ésteres leves.

De nome científico *Syagrus oleracea* (mart.) becc, a gueiroba é uma palmeira nativa do Cerrado. Ocorre nos estados da Bahia, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Tocantins e São Paulo, em áreas de altitude entre 400 e 1200 metros e em solos com boa fertilidade (LORENZI et al., 1996 apud ALMEIDA et al., 2000).

Suas raízes podem ser definidas como: cilíndricas, distribuídas subterraneamente, do tipo “cabeleira” ou “fasciculada”. As raízes são mais grossas e em maior quantidade próximas ao estipe e a partir de 3 a 5 metros de distância, começa um afinamento, chegando a alcançar até 15 metros para as laterais da palmeira (DIAS, 2012).

O estipe da palmeira pode ser descrito como “redondo” e de cor “acinzentada, que vão da base até a chamada “cabeça” da palmeira, de onde surgem as folhas. Folhas estas que ao cair deixam marcas no estipe, que são denominadas de “gomos” ou “cintura” (DIAS, 2012).

Segundo o Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN, 2013):

“A gueroba passa por diferentes estágios de desenvolvimento ao longo de sua vida. Quando o seu coco germina, nasce apenas uma folha chamada popularmente de ferrãozinho, depois é que vêm as outras folhas. As primeiras folhas que nascem são inteiras e plissadas, como plissas de uma saia, e possuem a forma de uma canoa. Após aproximadamente dois anos, as folhas inteiras começam a se rasgar em tiras, denominadas tecnicamente por pinas. Daí em diante nascem apenas folhas formadas por pinas, chamadas de folhas definitivas. “

Após esse período de desenvolvimento inicial, a “cabeça” da gueiroba começa a engrossar e tomar forma, e é de onde nascem as folhas, localizadas na extremidade do caule; ela é coberta por fibras de cor marrom, onde está o palmito da gueiroba de formato cilíndrico, consistência macia, e aparência branca, e é envolvido e protegido pelas bainhas (cascas) das folhas adultas. Na fase jovem, com 3 anos de idade a planta fica com a cabeça mais grossa e a partir de então o caule começa a crescer e fica coberto por fibras de cor marrom, e a cabeça novamente afina. Por volta dos 5 anos de idade, a cabeça da gueroba começa a engrossar novamente, e a partir daí começa também a gerar frutos e flores (ISPN, 2013).

A palmeira atinge em média 5 a 20 metros de altura, com caule de aproximadamente entre 15 e 30 centímetros, podendo chegar a viver por até 100 anos de idade (MATTEUCCI et al., 1995 apud SILVA; PROTESTATO; BUENO, [s.d.]).

Esta palmeira é do tipo de estipe ereto, com flores e cachos surgindo durante a primavera até o outono. Os frutos (cocos) são em formas de cachos, de coloração verde amarelada, com uma amêndoia, comestível. Os cachos podem produzir até 120

frutos, com frutificação entre os meses de outubro a fevereiro (LORENZI et al., 2004 apud NOZAKI, 2012).

Segundo Almeida et al. (2000) apud Dias (2014) a gueiroba pode ser dividida em quatro grupos: gueroba-rosa ou jerivá, gueroba-macaúba, gueroba-branca ou cocão e gueroba-roxa; tendo como principais diferenças morfológicas a cor e o diâmetro da estipe, o sabor do palmito, o desenvolvimento da planta e o tamanho dos frutos.

A palmeira da gueiroba tem uma característica bastante ornamental, podendo ser utilizada em locais públicos para arborização e também em áreas de recomposição, principalmente onde se exige recomposição com plantas nativas do cerrado. As flores são alvo das abelhas e para alimentação de gado, os frutos servem de alimento para os animais terrestres (quando estão no chão) e pássaros (quando ainda estão nos cachos) e o palmito, para consumo humano. Embora tenha um gosto mais amargo que outros palmitos, o consumo do palmito de gueiroba é bastante difundido na região do cerrado mineiro e do estado de Goiás (NOZAKI, 2012).

Mesmo que a maior utilização da palmeira seja para aproveitamento do palmito, outro aspecto importante é a amêndoas do fruto da gueiroba. O óleo extraído das amêndoas tem uma qualidade excelente, e é utilizada na culinária regional, na produção de doces e também para produção de sabão (NOZAKI, 2012).

A aparência dos cocos pode ser esverdeada, amarelada, ou acinzentada, dependendo do grau de maturação. Quanto mais “jovem” mais verde o fruto será, e quanto mais maduro, mais amarelada será sua aparência.

O fruto pode ser dividido em partes, sendo elas o epicarpo, ou a casca; o mesocarpo, ou a polpa; o endocarpo, o caroço e a amêndoas, por vezes também chamada de semente. Segundo Almeida et al., (2000) apud Dias (2012), o fruto maduro, recém caído, possui cerca de 50% de partes comestíveis, representadas pela

polpa (45%) e amêndoas (5%), com um fruto de peso médio total de 40 g, quando maduro. A Figura 5 mostra a aparência dos frutos da palmeira da gueiroba.

Figura 5 - Frutos da gueiroba.



Fonte: (DIAS, 2012).

Os cocos são formados em cachos, que começam a ser produzidos num período de até 5 anos após o plantio, podendo ser um período variável de acordo com algumas condições do local, como fertilidade do solo e textura. O período de maturação começa no mês de maio, e de julho a janeiro é o período onde os frutos caem dos cachos, podendo este evento ocorrer com mais intensidade entre setembro e novembro (DIAS, 2012).

A Figura 6 mostra a composição dos cachos de frutos quando ainda estão na estrutura da palmeira de gueiroba.

Figura 6 - Cachos de cocos da gueiroba.



Fonte: (DIAS, 2012).

As amêndoas dos cocos têm finalidade quase exclusivamente alimentícia. O seu óleo pode ser utilizado ainda na indústria de cosméticos. Porém, análises na composição de ácidos graxos do óleo das amêndoas indicam um potencial elevado para produção de biocombustíveis a partir da sua composição abundante em ésteres leves, como é evidenciado mais adiante.

Cada fruto da palmeira apresenta somente uma amêndoas, que tem formato arredondado, por vezes ovalar, oca, de aparência branca, e casca fina marrom. Tem aspecto oleaginoso e sabor doce e agradável ao paladar.

Segundo Garcia et al., (1979) apud Dias (2012) a amêndoas mede exatamente de 2,0 a 3,0 cm de comprimento por 1,0 a 1,5 cm de largura; com espaço interno (parte oca) de 0,7 a 1,0 cm de comprimento por 0,3 a 0,6 cm de espessura. A Figura 7 mostra a aparência das amêndoas sadias dos cocos de gueiroba.

Figura 7 - Amêndoas dos cocos da gueiroba.



Fonte: Do Autor (2018).

O coco pode abrigar em seu interior alguns seres vivos, como o chamado “coró” do coco ou ainda besouros, que se alimentam da amêndoas. É comum encontrar a presença do coró em cocos que estejam com a casca e a polpa secas, principalmente após a fase de amadurecimento.

O coró é uma larva de aparência branca, também chamado de “bicho do coco” e originário de um besouro, mais precisamente das fêmeas da espécie *Pachymerus nucleorum* Fabr. (GARCIA; VIEIRA; COSTA, 1979).

Ainda segundo Garcia; Vieira; Costa (1979), preferencialmente os ovos são depositados em cocos amadurecidos e em cocos secos, sempre quando estão caídos no solo. Depois de perfurar e entrar, a larva aloja-se no espaço interno da amêndoia, de onde retira seu alimento até o consumo total. Com a larva alojada no local da amêndoia, é comum encontrar partículas farinhosas e resíduos da digestão do coró. A Figura 8 mostra a aparência de um coco com a presença do coró.

Figura 8 - Cocos de gueiroba com presença de coró.



Fonte: Do Autor (2018).

Após o consumo da amêndoia, a larva constrói seu casulo ligando com saliva as partículas farinhosas e os resíduos da digestão. Após aproximadamente 13 dias, há o endurecimento do tegumento (envoltório) e então inicia-se a perfuração do canal

de saída pelo endocarpo, num orifício circular de 5 a 8 mm de diâmetro. Os espécimes adultos levam em média de 2 a 4 dias para realizar o processo de perfuração do endocarpo e conseguir sair do coco (GARCIA; VIEIRA; COSTA, 1979).

1.6.3 Características do óleo da amêndoа do coco da gueiroba

O óleo da gueiroba pode ser obtido a partir da sua amêndoа, da sua polpa, suas folhas e até do coró do coco. Cada um com especificações e finalidades diferentes. O óleo de coró tem finalidades medicinais, com cheiro forte e indicação para uso em casos de dores de ouvido, rachaduras no calcanhar do pé, tratar umbigos de bebês e recém-nascidos e ainda aliviar cólicas de bebês (DIAS; LAUREANO; MING, 2014).

O óleo da polpa se assemelha ao óleo da amêndoа principalmente na composição de ácidos graxos. Ambos possuem riqueza em composição de ácidos graxos saturados, principalmente o óleo da amêndoа. Segundo pesquisa de Nozaki (2012) o óleo da amêndoа possui 90,30% de ácidos graxos saturados, e o óleo da polpa conta com cerca de 41,05% de ácidos graxos saturados, representados principalmente por ácido palmítico (C16:0).

Ainda segundo Nozaki (2012), a respeito da composição de ácidos graxos dos dois óleos, podemos dizer que o óleo da polpa possui quantidades expressivamente elevadas de ácido palmítico saturado (C16:0), ácido oléico monoinsaturado (C18:1) e ácido linoléico polinsaturado (C18:2). No óleo da amêndoа, encontram-se valores maiores de ácido caprílico (C8:0), ácido cáprico (C10:0), ácido láurico (C12:0), ácido mirístico (C14:0) e ácido esteárico (C18:0). No óleo de amêndoа a presença de óleos monoinsaturados ou polinsaturados é abaixo de 10%.

Embora haja semelhança, o óleo da amêndoа é mais rico em ácidos graxos de cadeia carbônica mais curta, o que faz com que seja uma boa fonte de matéria-prima

para a produção de biocombustíveis leves como biodiesel leve. Ao contrário do óleo da polpa, que de acordo com sua composição seria mais adequado para a produção de biodiesel convencional, com abundância de ácidos graxos de cadeia carbônica mais “pesada” ou longa.

Ainda no campo dos ácidos graxos, é de destaque a presença de ácidos insaturados (monoinsaturados ou polinsaturados) no óleo da polpa, representando 24,84% de ácidos monoinsaturados e 34,78% de ácidos polinsaturados (NOZAKI, 2012).

A Tabela 4 mostra a composição de ácidos graxos do óleo dos diferentes componentes da gueiroba segundo alguns autores.

Tabela 4 - Composição de ácidos graxos do óleo da polpa e da folha da gueiroba.

Ácidos graxos	Folhas (%)	Polpa (%)
Caprílico (C8:0)	-	0,98
Cáprico (C10:0)	0,75	0,55
Láurico (C12:0)	3,91	1,23
Mirístico (C14:0)	3,78	1,15
Palmítico (C16:0)	9,35	44,63
Esteárico (C18:0)	13,1	1,46
Lignocérico (C24:0)	12,7	-
Palmitoléico (C16:1)	-	2,5
Oléico (C18:1)	30,9	16,67
Linoléico (C18:2)	8,71	29,57
Linolênico (C18:3)	3,04	0,91

Fonte: Adaptado de (BUZIN et al., 2016) e (COIMBRA, 2010).

Já o óleo da amêndoia, possui características um pouco diferentes dos óleos citados anteriormente. A principal, como dito, é a abundância de ácidos graxos de cadeias carbônicas curtas, o que traz a possibilidade de usar este óleo como fonte para produção de combustíveis leves, como o caso do biodiesel leve. A composição dos ácidos do óleo da amêndoia é evidenciada na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição de ácidos graxos do óleo das amêndoas da gueiroba.

Ácidos graxos	Amêndoas (%)		
Caprílico (C8:0)	11,9	12,11	10,3
Cáprico (C10:0)	7,25	6,88	6,65
Láurico (C12:0)	45,8	42,43	49,53
Mirístico (C14:0)	13,5	14,01	14,34
Palmítico (C16:0)	4,74	5,96	5,14
Esteárico (C18:0)	3,82	3,72	3,72
Oléico (C18:1)	10,8	11,87	7,98
Linoléico (C18:2)	1,6	2,17	1,63
Autor	Buzin et al (2016)	Coimbra (2010)	Nozaki (2012)

Fonte: Adaptado de (BUZIN et al., 2016); (COIMBRA, 2010) e (NOZAKI, 2012).

1.6.4 Rota de produção via transesterificação seguida de destilação atmosférica

Como visto anteriormente, os órgãos que regulamentam o uso do bioquerosene para a aviação civil estipulam as rotas de produção aceitas, de onde obtém-se os produtos a serem misturados ao querosene mineral.

Para as rotas de produção já regulamentadas, hidrocarbonetos são obtidos como produto final. Porém, há na literatura relatos de trabalhos envolvendo o uso de

ésteres para o uso em mistura com o querosene mineral, o que implica no uso de rotas distintas das rotas regulamentadas.

Trabalhos envolvendo o uso de coco e palma, (Llamas et al., 2012a) babaçu e camelina (Llamas et al., 2012b), e macaúba (Harter; Santos; Fabris, 2018) foram previamente realizados. Os estudos de Llamas envolveram uma produção a partir de uma transesterificação seguida de um processo de destilação a vácuo, que, tem particularidades implícitas por se tratar de uma técnica complexa e dispendiosa. Porém, pôde-se verificar a partir dos estudos que é possível fazer o uso de ésteres para o uso na aviação civil. Segundo resultados obtidos pelo autor, em misturas até 10% com o querosene mineral seria possível a utilização dos FAME's obtidos.

Da mesma forma, utilizando FAME's obtidos da macaúba, o trabalho de Harter; Santos; Fabris, (2018), evidenciou que os ésteres metílicos de ácidos graxos poderiam ser utilizados em misturas na faixa de até 5%. No entanto, há um ganho técnico no método utilizado neste trabalho: a destilação atmosférica.

O grupo de pesquisa desenvolveu um método para obtenção dos biocombustíveis que não mais fazia uso da destilação a vácuo, porém de uma destilação mais simples, conhecida e industrialmente viável, sob pressão e temperaturas ambientes, caracterizando-se como um método inovador para esta finalidade, ou seja, uma rota distinta de produção.

A destilação fracionada realizada no estudo indicou que os ésteres de interesse para uso como combustível de aviação (C8 a C14) poderiam ser concentrados numa faixa de até 60% do volume inicial da destilação atmosférica, sendo assim, este foi o método foi empregado neste estudo.

Visto que se trata do mesmo grupo de pesquisa, trabalhando agora com uma matéria-prima de outra fonte, o mesmo método foi empregado, visto que o primeiro trabalho forneceu a base teórica necessária para justificar o uso da técnica.

2. JUSTIFICATIVA

O presente trabalho trata sobre a obtenção de um biocombustível a partir de uma matéria-prima de fonte renovável, o que contribui significativamente para a redução da dependência atual dos combustíveis fósseis, principalmente no setor de aviação. A preocupação mundial para reduzir o uso dos derivados do petróleo motiva cada vez mais a procura por fontes alternativas, que possam contribuir para reduzir o impacto gerado pela queima dos combustíveis de origem fóssil.

Esta tendência de substituição de combustíveis fósseis por combustíveis “verdes” teve início no setor de transportes rodoviários, e agora chega no setor de aviação. A Resolução A37-19, da International Civil Aviation Organization (ICAO), aprovada por meio dos seus Estados Membros – incluindo o Brasil – na 37º assembleia em outubro de 2010, encoraja seus Estados Membros a, de forma voluntária, submeter planos de ação para a redução de emissões no setor, segundo a International Civil Aviation Organization - ICAO (2010). É citado ainda no documento, que uma das alternativas para a redução da emissão dos gases de efeito estufa é a adoção de combustíveis alternativos, como o caso do bioquerosene e do biodiesel leve proveniente de óleos vegetais, como proposto por este trabalho.

Dessa forma, este trabalho justifica-se ao ponto de propor uma alternativa de combustível renovável, menos poluente, e mais amigável ambientalmente para uso na aviação civil, a partir do uso de uma matéria-prima vegetal.

A composição dos ácidos graxos do óleo da amêndoa de gueiroba foi um fator de peso para a escolha desta matéria-prima neste trabalho. Devido a semelhança entre sua composição e a composição do querosene mineral, buscou-se alinhar estas características na produção de um biocombustível que se assemelhe ao querosene mineral nas características definidas pelos órgãos regulamentadores, que são a ANP a nível nacional e a ASTM a nível internacional.

Além disso, o processo de produção envolvendo a rota de destilação atmosférica trata-se de um processo inovador para esta finalidade. Resultados anteriores do mesmo grupo de pesquisa indicaram que o processo pode ser eficaz do ponto de vista técnico, sendo assim, este trabalho avança no sentido de dar ainda mais base teórica para fortalecer o emprego da técnica.

Assim, a partir de uma rota de produção que se utiliza da transesterificação para produção de biodiesel, e uma posterior destilação atmosférica do produto para obtenção de ésteres leves, este trabalho buscou produzir um biocombustível viável que possa ser utilizado em blends com o querosene mineral.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi a produção e a caracterização de um combustível de aviação – intitulado de biodiesel leve – a partir do processo de transesterificação de um óleo vegetal obtido através da oleaginosa *Syagrus oleracea* (mart.) becc, com composição de ácidos graxos de cadeia carbônica entre 8 e 14 carbonos, semelhante ao querosene obtido através da destilação do petróleo; e um posterior processo de destilação atmosférica, para obtenção dos FAME's; para que assim, haja mais uma alternativa sustentável e renovável para contribuir para a diminuição dos danos causados pela queima dos combustíveis fósseis no setor de aviação.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Extrair o óleo de gueiroba, por meio de uma produção utilizando extração via Soxhlet, com solvente hexano.

Caracterizar os parâmetros físico-químicos do óleo vegetal através de análises de densidade, conteúdo de água, índice de acidez e índice de peróxido para verificar sua viabilidade para o processo de transesterificação.

Realizar um processo de transesterificação do óleo de gueiroba, utilizando metanol e como catalisador hidróxido de potássio (KOH); para obtenção de um biodiesel rico em ésteres de ácidos graxos de cadeias carbônicas curtas.

Realizar um processo de destilação atmosférica do biodiesel obtido, com corte da destilação em 60% do volume inicial, conforme indicado por estudo anterior do grupo de pesquisa anteriormente mencionado, a fim de obter-se uma fração de destilado rica em FAME's de cadeias carbônicas curtas.

Realizar uma análise de cromatografia gasosa do biodiesel, do biodiesel leve e do resíduo da destilação para verificar a viabilidade do processo de destilação atmosférica na concentração dos ésteres de cadeia curta de interesse para uso como combustível de aviação.

Caracterizar o combustível alternativo obtido em misturas (blends) com o querosene mineral, com a finalidade de avaliar a sua conformidade às normas e limites estabelecidos pela Resolução número 778 de 5 de abril de 2019 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da norma D1655 da American Society for Testing and Materials (ASTM) para densidade, conteúdo de água, análise de destilação, ponto de fulgor, poder calorífico e ponto de congelamento.

4. METODOLOGIA

4.1 Processos de secagem dos cocos e extração das amêndoas

Os cocos de gueiroba utilizados neste trabalho foram adquiridos através de um produtor rural da região de Monte Carmelo, em Minas Gerais, que fez a coleta das peças durante o mês de outubro de 2017, onde foram obtidos cerca de 5.000 cocos.

Os cocos então foram dispostos em local para secagem, a fim de facilitar o processo de extração das amêndoas, uma vez que o mesocarpo fibroso do coco no estado maduro dificulta bastante a operação. A secagem teve início em 30 de setembro de 2017 e durou 16 dias, até a data de 15 de novembro de 2017. A Figura 9 ilustra o processo de secagem das peças.

Figura 9 - Secagem dos cocos de gueiroba.



Fonte: Do Autor (2017).

Após a secagem, partiu-se para o processo de retirada das amêndoas dos cocos secos. A quebra dos cocos foi realizada de forma manual, assim como a retirada das amêndoas, com auxílio de uma marreta de pequeno porte, uma peça de pedra moledo para fixação dos cocos, e uma faca de cozinha comum para retirada das amêndoas dos cocos.

Alguns cocos quando quebrados apresentaram uma amêndoas com aparência amarelada, e aspecto “mole”. Ainda haviam aquelas com presença de coró do coco. Nos dois casos as amêndoas foram descartadas, bem como os cocos.

Após a retirada das amêndoas foi realizado um processo de peneiramento, com peneira comum, para retirar restos de fibras de endocarpo, terra, e outras impurezas que estavam presentes.

Partiu-se então para a seleção das amêndoas, sendo retiradas aquelas com aparência amarelada. Após, todo o material sadio foi acondicionado em saco plástico, e armazenado em congelador comum. Os restos dos cocos também foram acondicionados em sacos plásticos e descartados em local apropriado

4.2 Extração do óleo das amêndoas via Soxhlet

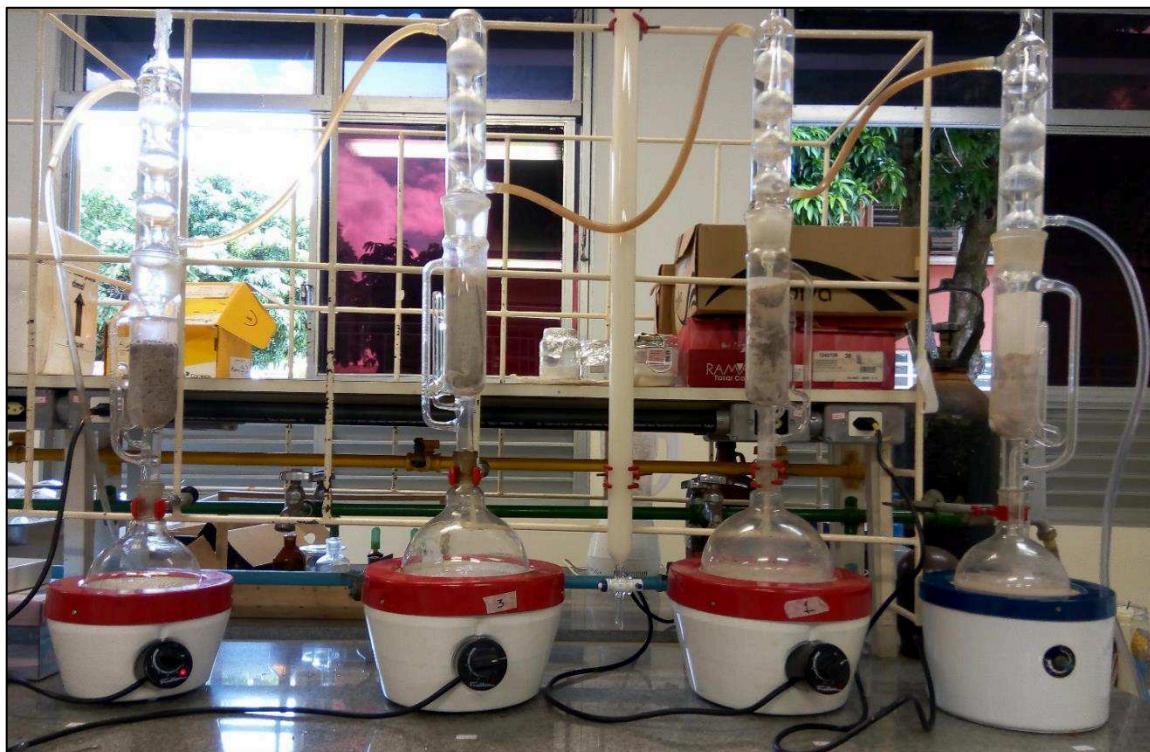
A extração do óleo das amêndoas da gueiroba foi realizada no laboratório de pesquisa do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, no mês de abril de 2018.

O método escolhido foi a extração por meio de extratores soxhlet utilizando como solvente o hexano (C_6H_{14}). Procedeu-se da seguinte forma:

- I. O material foi triturado com auxílio de dois liquidificadores comuns (Walita Liqfaz 110V e Mondial Vitamix 2 220V).

- II. Foram preparados filtros (papel filtro qualitativo 24 cm de diâmetro – Unifil). Adaptados de acordo com o tamanho de cada extrator e moldados de forma cilíndrica, com auxílio de grampeador comum.
- III. O material triturado foi pesado e inserido nos filtros.
- IV. Os equipamentos para extração foram montados formando o conjunto de extração. Foram utilizadas 5 mantas de aquecimento (Quimis Q 321A28, Fisatom 202 e 102, 2 (dois) Licit MA1); 5 balões volumétricos de fundo redondo (1 balão grande Laborgas 5000 mL e 4 balões pequenos 1000 mL), 1 extrator de grandes volumes (Uniglas) e 4 extratores de pequenos volumes (Diogolab); 5 condensadores (2 Pyrex e 3 Diogolab); e uma bomba de água. A Figura 10 mostra os equipamentos montados.

Figura 10 - Extração soxhlet.



Fonte: Do Autor (2018).

- V. Iniciou-se o processo de extração com inserção do solvente no balão volumétrico e partida nos equipamentos.
- VI. Controle dos fatores variáveis ao longo da extração. Temperatura das mantas mantida conforme o ponto de ebulição do solvente ($> 68^{\circ}\text{C}$); temperatura da água dos condensadores mantida próxima de 10°C com inserção de gelo intermitente em banho ultratermostatizado; e controle do nível de solvente hexano nos balões com inserção manual conforme necessidade.

Foram utilizados em todo o processo aproximadamente 20 L de solvente, numa extração com tempo médio de 4 horas, com 5 reatores (4 reatores com extratores comuns e 1 reator com extrator grande).

Após o término do procedimento de extração, foi realizada a filtração do material e lavagem de todos os equipamentos envolvidos com solvente para melhor aproveitamento do óleo extraído. Todos os extratores, balões, filtros, e outros equipamentos que tiveram contato com o óleo foram lavados com hexano, juntamente com o resíduo da extração.

Em seguida, o hexano utilizado na lavagem juntamente com o resíduo da extração foram filtrados em filtro de Buchner acoplado a uma bomba a vácuo (Primatec BBV 131).

Após esta etapa, procedeu-se para a fase de separação do óleo obtido do solvente utilizado, tanto na extração como na lavagem dos equipamentos e filtragem do resíduo. Para isso foram utilizados dois evaporadores rotatórios (IKA RV 10 Basic e IKA RV 10 Control). Todo o material foi evaporado por um tempo médio de 30 minutos, em processo de bateladas, numa temperatura média de 68°C , rotação de 60 rpm e pressão de 650 mmHg. A Figura 11 mostra o esquema de evaporação rotativa utilizado.

Figura 11 - Evaporador rotativo.



Fonte: Do Autor (2018).

Ao final do processo, todo o material triturado utilizado na extração foi descartado adequadamente. O solvente recuperado no processo de evaporação rotativa foi armazenado para posterior utilização, devidamente identificado como sendo hexano de rota evaporação.

Para o cálculo do rendimento do óleo obtido foi utilizada a Equação 1 (GIRARD; KOEHLER; NETTO, 2007):

$$\text{Equação 1: } R\% = \frac{\text{Volume}_{\text{óleo}} \times \text{Densidade}}{\text{Massa}_a} \times 100$$

Onde R% = rendimento em porcentagem;

Volume_{óleo} = volume de óleo em mL;

Densidade = massa de um mL de óleo em g;

Massa_a = massa seca de material.

4.3 Análises do óleo vegetal

As análises do óleo vegetal foram realizadas com auxílio do laboratório de Biocombustível e Técnico Ambiental – LaBTA, da ESTES – Escola Técnica de Saúde da Universidade Federal de Uberlândia, no campus Umuarama.

4.3.1 Densidade a 20º C

Para a análise de densidade foram utilizados os seguintes instrumentos e materiais: densímetro, termômetro, proveta de 1000 mL, 1000 mL de óleo de gueiroba e refrigerador comum para resfriamento do óleo. A análise foi realizada seguindo a metodologia proposta pela norma ASTM D1298.

O óleo foi colocado em refrigerador comum para atingir a temperatura necessária. Foi retirado com temperatura abaixo de 20º C. Após, foi inserido na proveta, até o menisco de 1 L. O termômetro também foi inserido para ter controle da temperatura.

Assim que o óleo atingiu a marca de 20º C, o valor da densidade do óleo foi determinado observando-se a marca indicada no densímetro.

4.3.2 Conteúdo de água

Para a análise de conteúdo de água do óleo de gueiroba extraído, foi utilizado um titulador Karl Fischer, numa titulação convencional na presença do óleo em análise. O procedimento foi realizado em triplicata, seguindo a metodologia proposta na norma ASTM D6304.

O primeiro passo realizado foi a inserção das amostras em seringa de vidro especial para utilização no equipamento. Foram pesadas cerca de 1 g de óleo em balança analítica. Após, foi feita a “tara” da balança com o peso total da amostra e da seringa.

Em seguida, foram inseridas 3 gotas da amostra no aparelho titulante Karl Fischer e foi realizada a nova pesagem da seringa, a fim de obter-se o valor da amostra adicionada no aparelho.

O valor obtido foi inserido no aparelho titulante, que deu início ao processo de análise, que indicou o resultado direto logo após em seu visor.

4.3.3 Índice de acidez

A análise para determinação do índice de acidez do óleo vegetal de gueiroba foi realizada seguindo metodologia específica proposta pelo Ministério da Agricultura (2011).

Os instrumentos utilizados foram: balança analítica, seringa de vidro, ernlenmeyers, bêqueres, balão volumétrico, bureta, pipetas Pasteur, biftalato de potássio ($C_8H_5KO_4$), solução de hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹ (NaOH), álcool etílico 95%, amostras do óleo vegetal de gueiroba, água deionizada e água comum.

O primeiro passo realizado foi a padronização da solução de NaOH, segundo metodologia proposta por Tebras (2012). O procedimento faz uso de uma reação de titulação ácido base, utilizando NaOH PA, biftalato de potássio e água deionizada.

Para o preparo da solução foi adicionado 4,0086 g de NaOH PA em 1000 mL de água, num balão volumétrico de 1000 mL onde foi agitado para homogeneização.

Para a padronização, a metodologia orienta a adição de 0,5105 g de biftalato de potássio em água deionizada, porém, foram adicionadas somente um quarto deste valor, correspondente a 0,1276 g com o objetivo de que o volume final da titulação fosse menor que 10 mL. Foi realizado em triplicata. Foram adicionadas 0,1296 g; 0,1238 g; 0,1207 g de biftalato em 100 mL de água deionizada para cada amostra.

Passou-se então para a titulação do biftalato de potássio utilizando um equipamento de titulação automática Mettler Toledo. Também foi realizada a titulação de um branco, em triplicata.

Após, foram utilizadas as equações 2, 3 e 4 para determinação da molaridade real da solução de hidróxido de sódio.

Equação 2: $Mr = m_b / (204,22 \times V_{tit})$, onde

Equação 3: $V_{tit} = V_{Biftalato} - V_{branco}$

Equação 4: $m_b = Biftalato\ adicionado \times 1000$

Onde **Mr** é a molaridade real; **m_b** a massa do biftalato; **204,22** trata-se da massa molar do biftalato e **V_{tit}** corresponde ao volume titulado, que é o volume de biftalato titulado menos o volume do branco titulado.

Após o preparo e padronização da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹, as etapas seguintes para determinação do índice de acidez foram realizadas conforme metodologia.

Foram adicionadas em erlenmeyer de 125 mL a quantidade de peso da amostra de óleo em g, a quantidade de álcool etílico, e a concentração do NaOH, especificados na metodologia seguida.

7,05 g de óleo de gueiroba aproximadamente foram pesadas em balança analítica e adicionadas em 75 mL de álcool etílico, em erlenmeyer, em triplicata. Após procedeu-se a titulação em equipamento automático Mettler Toledo com NaOH 0,25 N, também realizada 3 vezes.

Para a obtenção do resultado foram utilizadas as equações 5 e 6 propostas pela metodologia, que são:

$$\text{Equação 5: } \text{Ácido oléico (%)}: \frac{mL \text{ NaOH} \times N \times F \times 28,2}{\text{massa da amostra}}$$

$$\text{Equação 6: } \text{Índice de acidez (mg de KOH.g⁻¹)}: = \% \text{ ácido oléico} \times 1,99$$

Onde,

mL NaOH = volume de NaOH gasto na titulação (volume gasto na titulação do óleo menos volume gasto na titulação do branco);

N = Normalidade da solução de NaOH (valor da metodologia);

F = Fator de correção da concentração da solução de NaOH;

28,2 = Fator de conversão (equivalente grama) do ácido oléico.

4.3.4 Índice de peróxido

A análise relacionada ao índice de peróxido do óleo de gueiroba foi realizada segundo metodologia específica para esta análise em óleos e gorduras, proposta por Lutz (2008, pág 597).

Para tal, foram necessários os seguintes equipamentos e reagentes: balança analítica, seringa de vidro, erlenmeyer, béqueres, pipetas Pasteur, pipeta graduada, ácido acético (CH_3COOH), clorofórmio (CHCl_3), solução de tiossulfato de sódio 0,1 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), iodeto de potássio (KI), iodato de potássio (KIO_3), carbonato de sódio (Na_2CO_3), solução ácido acético-clorofórmio 3:2 v/v, ácido sulfúrico (H_2SO_4).

O primeiro passo realizado foi o preparo da solução de tiossulfato de sódio 0,1 N. Para tal, foi utilizado a metodologia proposta pela UFPA ([s.d.]).

24,9969 g de tiossulfato de sódio cristalizado foram inseridos em um balão volumétrico de 1000 mL juntamente com 1000 mL de água destilada previamente fervida, onde foi dissolvido; inseriu-se ainda 3 gotas de clorofórmio para melhor qualidade de armazenagem do produto; e adicionou-se também 0,1001 g de carbonato de sódio para assegurar o pH correto da solução. Foi armazenada em local escuro até sua utilização.

De posse da solução correta, partiu-se para sua padronização, que também seguiu metodologia específica do mesmo autor, a UFPA ([s.d.])

Foram inseridas 1,0720 g de iodato de potássio num balão volumétrico de 250 mL que foi completado com água destilada até o menisco. Desta solução, foram retiradas 5 amostras de 5 mL cada.

As amostras receberam cada a adição de 0,5 mL da solução ácido acético-clorofórmio 3:2, 25 mL de água destilada, 2 g de iodeto de potássio e 5 mL de ácido sulfúrico. Realizou-se então a titulação das amostras em titulador automático Mettler Toledo e os resultados de consumo e fator foram anotados.

O cálculo do consumo real foi realizado fazendo-se a subtração do valor de consumo da titulação do iodeto de potássio pelo valor obtido na titulação do branco. Para o cálculo da massa real do padrão levou-se em conta a quantidade de iodato de potássio inserido no balão de 250 mL. Foram inseridas 1,0720 g, valor que foi dividido por 250 (volume do balão), e após multiplicado por 5 (número de amostras). Obteve-se assim um valor de 0,0214 g para a massa real do padrão.

Fez-se ainda o cálculo do fator de correção da concentração da solução de tiosulfato de sódio. Para tal utilizou-se o valor do equivalente grama do iodato de potássio, que corresponde a 35,5665. O valor foi dividido por 1000 para aplicação nas fórmulas.

Foi realizada o cálculo da seguinte forma: massa real do padrão dividido pela multiplicação do equivalente de iodato de potássio vezes o valor real consumido na titulação do tiosulfato. Fez-se o cálculo para todas as amostras, e obteve-se um valor médio de 0,1284. Deste valor, foi obtido o fator de correção da concentração da solução de tiosulfato de sódio, realizando uma divisão por 0,1. O valor encontrado foi de 1,2846.

De posse de todos as soluções necessárias, partiu-se para o tratamento das amostras do óleo de gueiroba. Foram separadas 5 g de amostra de óleo, que foram colocadas em erlenmeyer. Adicionou-se 30 mL da solução de ácido acético-clorofórmio 3:2, agitando-se até a dissolução total. Em seguida adicionou-se 0,5 mL da solução de iodeto de potássio, que ficou em repouso sem contato com a luz por um minuto. Depois disso adicionou-se ainda 30 mL de água destilada, de onde partiu para a titulação em aparelho titulador automático Mettler Toledo. Esse processo foi realizado em quadruplicata, e os resultados de volume gasto e teor foram anotados.

Fez-se ainda uma titulação no mesmo aparelho automático Mettler Toledo de um branco, contendo 2,0306 g de iodeto, anotando-se os valores de volume gasto e teor.

Para o cálculo do índice de peróxido foi utilizada a Equação 7:

$$\text{Equação 7: } IP \text{ (meq. kg}^{-1}\text{)} = \frac{(A-B) \times N \times f \times 1000}{P}$$

Onde:

A = mL da solução de tiossulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação;

B = mL da solução de tiossulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação do branco;

N = Normalidade da solução de tiossulfato de sódio;

f = fator de correção da concentração da solução de tiossulfato de sódio;

P = g da amostra.

4.4 Produção de biodiesel a partir do óleo de gueiroba

A produção do Biodiesel a partir do óleo das amêndoas da gueiroba foi realizada no laboratório do curso técnico em controle ambiental da ESTES, no campus Umuarama, mesmo local das análises do óleo vegetal.

Para este processo foi utilizado o seguinte procedimento experimental (HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018):

- Foram pesados 400 g do óleo vegetal, 80 g de metanol (CH_3OH) e 4 g de hidróxido de potássio (KOH), utilizando balança analítica comum, pipeta pasteur, bêquer de 1000 mL, colher de ponta chata.
- O hidróxido de potássio foi transferido para um bêquer, com metanol, onde foi dissolvido. A combinação foi transferida para o bêquer de 1000 mL contendo o óleo vegetal. Após este procedimento, a mistura ficou em agitador magnético por 50 minutos, a aproximadamente 500 rpm e 18º C. A temperatura e a rotação foram ajustadas conforme necessidade, observando-se a barra magnética

inserido dentro do béquer. Quando a agitação era muito alta, a barra magnética batia nas laterais do béquer, sendo assim necessário diminuir a rotação.

A Figura 12 mostra o agitador utilizado.

Figura 12 - Agitador magnético.

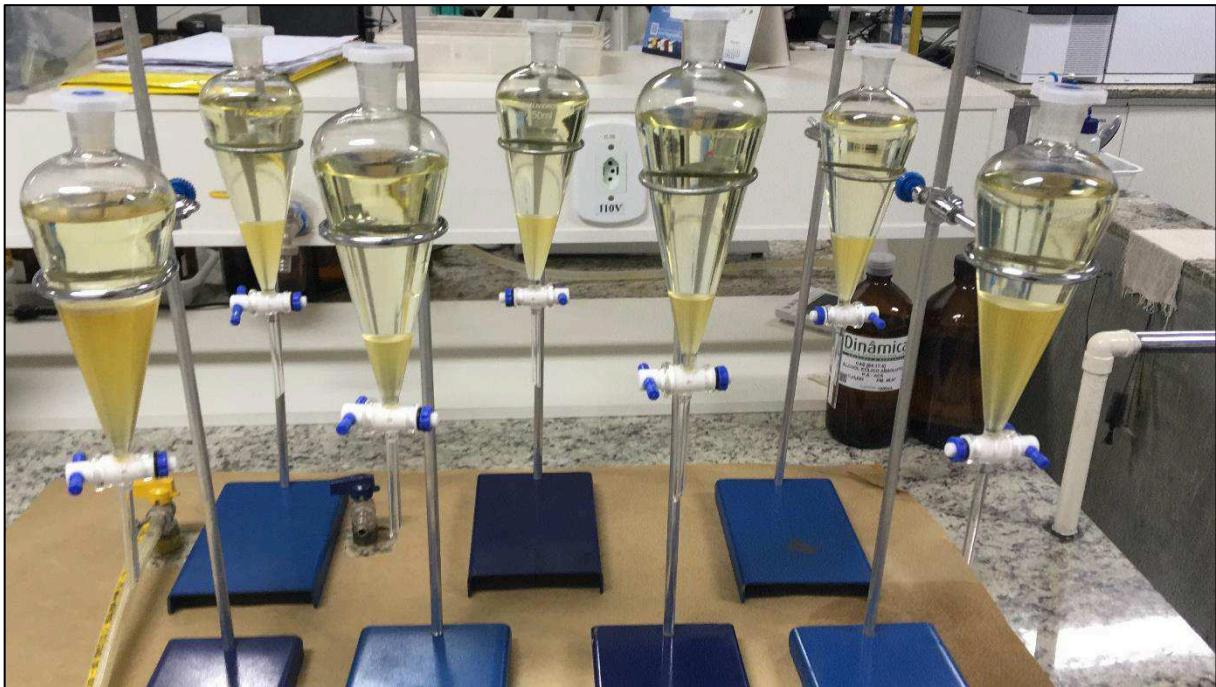


Fonte: Do Autor (2018).

- Após esse período a mistura foi transferida para funis de decantação (Qualividros, 250 mL), onde ficou em repouso por 24 horas em temperatura ambiente, média de 24 °C.

A Figura 13 mostra os funis postos em processo de decantação.

Figura 13 - Funis de decantação do biodiesel.



Fonte: Do Autor (2018).

- Após o processo de decantação, a glicerina formada na parte inferior foi drenada e o biodiesel foi mantido nos funis para proceder para o procedimento de lavagem.
- Lavagem com HCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$: A lavagem com solução de ácido clorídrico é um procedimento realizado para remoção do excesso de hidróxido de potássio. A lavagem foi realizada com pipeta Pasteur de 3 mL, inserindo-se a solução no funil 10 vezes de forma a ter uma boa lavagem. Após as repetições o biodiesel ficou em repouso para ocorrer a decantação e formação das fases. Não foi realizado nenhum processo de agitação para se evitar formação de emulsões. O repouso durou cerca de 30 minutos. Após isso o resíduo formado no fundo foi removido.

- Lavagem com água aquecida a 80 °C: O processo de lavagem com água aquecida busca retirar qualquer resíduo de ácido, da lavagem anterior. O aquecimento da água foi feito com uso de bico de Bunsen e o controle da temperatura por termômetro comum. Da mesma forma que a lavagem com HCl, o procedimento com pipeta Pasteur de 3 mL foi realizado 10 vezes para se ter uma boa lavagem. Também não foi realizado nenhum procedimento de agitação. Deixou-se decantar por aproximadamente 30 minutos e foi feita a drenagem. A Figura 14 mostra o processo de lavagem do biodiesel.

Figura 14 - Procedimento de lavagem do biodiesel.



Fonte: Do Autor (2018).

- Após o procedimento de lavagem, o biodiesel restante dos funis foi transferido para um balão de fundo redondo de 1000 mL e levado para o evaporador rotatório por um período de 60 minutos a 105 °C, com a finalidade de retirar a água;
- Passado este período, o biodiesel foi levado para estufa, a uma temperatura de 105 °C, por um período de 2 horas, também com finalidade de retirar água;
- Depois da estufa, o biodiesel foi transferido para um dessecador, previamente preparado, para outro período de secagem de 30 minutos. Após esse período o material foi transferido para frascos âmbar devidamente rotulados.

Todo o procedimento foi realizado em bateladas. A glicerina gerada no processo também foi transferida para frasco âmbar rotulado.

4.5 Destilação atmosférica para obtenção da fração leve de biodiesel

O processo de destilação do biodiesel para obtenção de um destilado rico em ácidos graxos leves também foi realizado com o auxílio do laboratório da ESTES.

O aparelho de destilação foi composto por balão de fundo redondo de 1000 mL, coluna de destilação de 300 mm, junta de conexão com saída lateral para conexão de condensador e abertura superior para conexão de rolha perfurada com inserção de termômetro. Também foi realizado o isolamento da coluna com papel alumínio.

O aquecimento do balão foi realizado através de manta de aquecimento. Os ésteres de menor cadeia que estavam presentes no destilado produzido foram coletados em bêquer. Na sobra, como resíduo de fundo, os ésteres de maior tamanho de cadeia foram coletados no balão.

Foram recolhidos 60% do volume total inicial para garantir melhor separação dos ésteres de menor cadeia carbônica, conforme indicado pela metodologia seguida

citada no item 1.6.4 (HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018). Isso quer dizer que quando a destilação atingiu 60% do volume inicial o processo foi interrompido. A temperatura inicial de ebulição registrada foi de 180 °C chegando até um registro de 270 °C no topo da coluna.

A Figura 15 mostra o esquema do processo de destilação empregado.

Figura 15 - Destilação atmosférica do biodiesel.



Fonte: Do Autor (2018).

4.6 Análises do biodiesel leve obtido

Após o processo de destilação, a fração de ésteres leves obtida foi transferida para frasco âmbar e armazenada. Para prosseguimento, foi necessário o preparo dos blends, ou seja, as misturas, do produto obtido com o produto comercial, o querosene mineral.

Os blends foram preparados em misturas de 2%, 5%, 10% e 20% v/v. O preparo foi realizado em bêquer de 500 mL, fazendo-se a medida correspondente a porcentagem de biodiesel leve, e completando até o menisco com o querosene mineral. Foram preparadas amostras de 500 mL de cada blend, para prosseguir com as análises, tendo em mente sempre as adequações do produto as normas regulamentadoras da ANP 778 e da ASTM D1655.

Importante mencionar que a norma ASTM D7566 que trata sobre as especificações do bioquerosene, não é utilizada pois o processo de obtenção do biocombustível aqui tratado não é mencionado no documento, apenas outras rotas de produção. Por mais valiosa que seja esta norma para as especificações de biocombustíveis de aviação, a sua utilização não é cabível neste trabalho.

4.6.1 Teor de ésteres

A análise para verificar a composição de ésteres presentes no biodiesel e no biodiesel destilado foi realizada através de cromatografia gasosa, para evidenciar a eficiência do processo de destilação atmosférica na concentração dos ésteres leves do biodiesel destilado. Foram analisadas as amostras de biodiesel, biodiesel destilado e resíduo de destilação.

A análise cromatográfica foi realizada a partir do método EN14103:2003. Ou seja, foi empregada uma isoterma de 190 °C por 7 minutos para uma coluna cromatográfica capilar recoberta com filme polimérico de poli (etilenoglicerol).

Foi realizado a partir de um cromatógrafo a gás, thermo, modelo Focus® GC, coluna Carbowax, capilar 30m × 0,32mm × 0,25µm (espessura de filme). Programação do forno: temperatura inicial 110 °C, aquecimento 20 °C min⁻¹ até 190 °C (6 min). Gás de arraste utilizado: Nitrogênio, vazão de 1,5 mL·min⁻¹. Injeção: razão de divisão de fluxo 30:1, temperatura do injetor 250 °C. Detecção a partir de detector por ionização em chama, a temperatura de 250 °C. O volume de injeção médio foi de 1 microlitro (µL) de uma solução diluída de biodiesel, porém, o detector por ionização em chama usado nas análises faz a medição da concentração dos compostos, não levando em conta a massa ou o volume, portanto a concentração é a mesma independente do volume de injeção, que pode ser variável uma vez que foi realizado um processo de injeção manual.

A solução diluída foi preparada pela diluição de 10 µL de biodiesel em 990 µL de uma solução de heptadecanoato de metila 0,5 mg·mL⁻¹ em n-heptano (este último empregado como padrão interno da análise segundo a norma EN14103:2003). A diluição é importante para evitar o entupimento da coluna cromatográfica e o depósito de resíduos das amostras no injetor e no detector do cromatógrafo, e nada interfere na resposta, pois a medida do teor de ésteres totais foi baseada na norma anteriormente citada, onde o teor de ésteres total é determinado considerando a massa do biodiesel, o volume e a concentração do padrão interno empregado na análise cromatográfica, além das áreas dos picos dos ésteres no cromatograma.

Os picos dos ésteres metílicos foram confirmados por comparação dos tempos de retenção dos padrões dos ésteres com os tempos de retenção dos picos no cromatograma das amostras de biodiesel, sendo assim, não há mudanças nos tempos de retenção, sob as mesmas condições de análise.

4.6.2 Densidade a 15 °C e a 20 °C

As análises de densidade relativa foram realizadas a 15 °C e a 20 °C visando atender tanto a recomendação da ANP como da ASTM. Também foram realizadas com o auxílio do laboratório da ESTES e seguindo a metodologia proposta pela norma ASTM D1298.

Foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais: picnômetro com termômetro acoplado, termômetro, balança analítica, pipeta Pasteur, bêquer, água, geladeira comum, amostras dos blends de biodiesel leve.

Para início da análise foi necessário realizar uma calibração no picnômetro, fazendo-se a pesagem do picnômetro vazio e cheio de água a 15 °C e a 20 °C. Este procedimento foi realizado em quintuplicata, fazendo-se uso do valor obtido por média simples.

Após a calibração, procedeu-se a pesagem da amostra de biodiesel leve 100%, ou seja, sem adição de querosene mineral; do querosene mineral comercial; e dos blends de 2%, 5%, 10% e 20%, todas realizadas a 15 °C e a 20 °C. As amostras foram resfriadas em geladeira comum, e a temperatura foi acompanhada em termômetro antes da inserção na balança para pesagem. Todos os valores das pesagens foram anotados.

Para obtenção do valor da densidade de cada blend, foi utilizado a Equação 8:

$$\text{Equação 8: } d = \frac{m}{v} = \frac{\text{Mpcamostra-Mpv}}{\frac{\text{MpcH}_2\text{O-Mpv}}{0,99913}}$$

Onde:

Mpcamostra = Massa do picnômetro com a amostra (g);

Mpv = Massa do picnômetro vazio (g);

MpcH₂O = Massa do picnômetro cheio de água (g);

0,99913 = Densidade da água a 15 °C (g.mL⁻¹).

Para a análise a 20 °C, foi utilizada a mesma fórmula, porém, houve alteração no valor 0,99913 para **0,99982** g.mL⁻¹ que correspondente ao valor da densidade a água a 20 °C.

4.6.3 Conteúdo de água

Para a análise de conteúdo de água das amostras dos blends, do biodiesel leve puro e do querosene mineral utilizou-se o mesmo procedimento descrito anteriormente para análise do conteúdo de água do óleo vegetal (ver item 4.3.2), seguindo o mesmo método proposto pela norma ASTM D6304.

O procedimento foi realizado da mesma forma para cada um dos blends, para a amostra de biodiesel leve puro e de querosene mineral puro.

4.6.4 Destilação

A análise de destilação foi realizada pelo laboratório Solução Análises especializado em análises de combustíveis, na cidade de Uberlândia, Minas Gerais. A partir do método ABNT NBR 9619, que é o método sugerido pela ANP para realização da análise, as amostras de 2, 5, 10, 20%, do biodiesel leve puro (100%) e também do querosene mineral comercial foram analisadas.

Os valores de P.I.E (ponto inicial de ebulação), 10% evaporado, 50% evaporado, 90% evaporado, P.F.E (ponto final de ebulação) e resíduo foram dados em graus Celsius e porcentagem, respectivamente. Valores de P.I.E, 50% evaporado e 90% evaporado não tem limites estabelecidos pela norma, que indica apenas o registro da temperatura, indicando o campo como “anotar”.

4.6.5 Ponto de fulgor

As análises relativas ao ponto de fulgor das amostras dos blends e do biodiesel leve puro também foram realizadas pelo mesmo laboratório especializado em Uberlândia.

O procedimento seguiu a norma ABNT NBR 7974 que é a metodologia proposta pela ANP para realização desta análise. Os resultados foram dados em graus Celsius.

4.6.6 Poder calorífico

Esta análise foi realizada com auxílio do laboratório da Faculdade de Engenharia Química da UFU, no campus Santa Mônica. O procedimento foi realizado em aparelho resfriador de água Chiller IKA KV 600, acoplado a um calorímetro IKA C 2000. Utilizou-se ainda pipetas Pasteur, bêquer, balança analítica e fio de algodão. A metodologia utilizada foi a norma ASTM D4529.

O primeiro passo realizado foi a fixação de um fio de algodão na presilha da bomba, que vai em contato direto com o material a ser analisado. Pesa-se cerca de 0,05 g de material a ser amostrado em recipiente específico em balança analítica, e acopla-se o recipiente na bomba. O valor pesado é inserido no calorímetro. A bomba com o recipiente acoplado é fechada e lacrada com tampa roscada. Assim que o aparelho reconhece a presença da bomba, faz-se a confirmação na tela e tem início o procedimento de análise.

A temperatura é um fator de grande relevância, e o papel do resfriador de água é manter o procedimento em no máximo 17 °C. Após aproximadamente 30 minutos, o aparelho mostra o resultado final no visor, em joules por grama.

O procedimento foi repetido para todas as amostras dos blends, para o biodiesel leve puro e o querosene mineral. Todos os resultados foram anotados e convertidos para megajoule por quilo, que é como o valor é expresso nas normas ANP e ASTM.

4.6.7 Ponto de congelamento

A análise térmica de calorimetria diferencial exploratória, DSC, das amostras dos blends, do biodiesel leve puro e do querosene comercial foi realizada com auxílio do laboratório multiusuário do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia. Utilizou-se um equipamento modelo TA Q20, em cadiño hermético de alumínio, atmosfera inerte de nitrogênio (N_2) 50 mL.min⁻¹ e taxa de aquecimento de 5 °C por minuto numa temperatura de -60 °C até 10 °C. As amostras foram congeladas a -60 °C em presença de propanona e nitrogênio líquido. Após, iniciou-se o aquecimento com uma taxa de 5 °C até atingir o limite estabelecido de 10 °C. A massa média das amostras utilizadas foi de 6 mg. Foram realizadas duas varreduras.

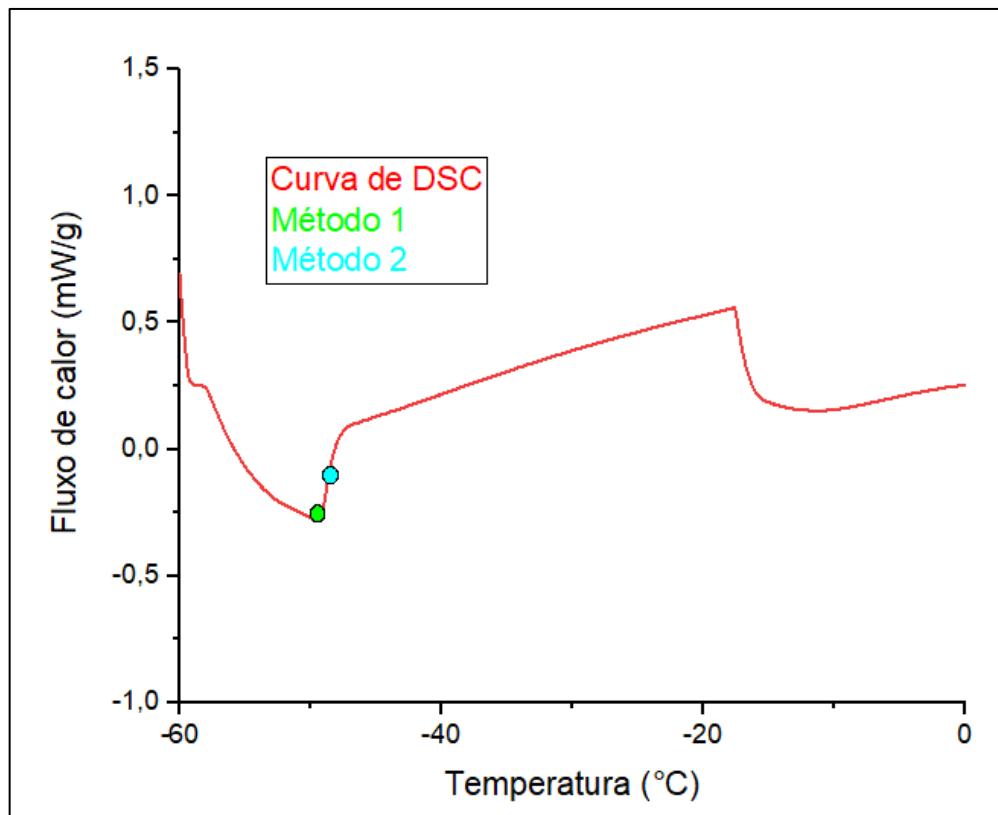
A partir dos resultados obtidos na análise é possível determinar o ponto de fusão das amostras, a partir da verificação da mudança de fase, na curva de entalpia. O início da fusão é caracterizado no pico da curva obtida, e o término na base esquerda da curva, após o pico principal da reação endotérmica.

Para a determinação do ponto de fusão neste trabalho foram utilizados dois métodos. A Figura 16 ilustra os pontos observados por cada método.

- i) No método 1, a determinação da temperatura se dá no pico da curva, no qual o centro do pico é usado como referência para determinação da temperatura;

- ii) No método 2, empregado por (MOYNIHAN; SHAHRIARI; BARDAKCI, 1982), o ponto de fusão é encontrado após o mínimo da curva endotérmica de fusão, na metade do lado de maior temperatura.

Figura 16 - Ilustração dos pontos de fusão observados por cada método.



Fonte: Do Autor (2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Extração do óleo das amêndoas de gueiroba

O processo de extração do óleo vegetal das amêndoas de gueiroba resultou em uma produção total de **3,8 L** de óleo em volume, ou **3,4 kg** de óleo em massa, para um total de **5,4 kg** de matéria-prima utilizada.

O rendimento total da extração do óleo pela rota soxhlet-solvente foi de **63%**, calculado de acordo com a Equação 1 citada no item 4.2, levando em conta a densidade obtida na análise de densidade do óleo, do item 5.2. Este valor foi bastante expressivo em comparação com outros resultados encontrados em trabalhos que também utilizaram a extração de óleos vegetais por hexano. O estudo de Almeida et al (2015), mostrou um rendimento de 44,76% para óleo de moringa, numa extração de 4 horas. Nota-se no trabalho que aumentando o tempo de extração pode-se aumentar o teor de óleo, porém, não é viável economicamente pois o aumento no teor de óleo obtido é relativamente pequeno se comparado a extrações de 2 a 4 horas.

Utilizando a mesma matéria-prima, porém com um método diferente, o trabalho de Dias (2012) apresentou um rendimento de aproximadamente 32,72% em peso para uma extração do óleo das amêndoas num processo realizado em prensa elétrica.

A grande diferença entre os rendimentos obtidos pode ser explicada pelo método utilizado para extração. O método envolvendo a prensa elétrica não é eficiente do ponto de vista de rendimento de óleo, pois não faz um aproveitamento total do potencial de óleo da matéria-prima. Já no caso da extração com solvente, o contato contínuo da matéria-prima com o solvente faz com que o aproveitamento de óleo seja o máximo possível. Outro fator que contribui para o maior rendimento na utilização do solvente é o estado da matéria-prima. Para a extração via soxhlet, o material foi triturado em grãos minúsculos, o que aumentou consideravelmente a superfície de

contato do material com o solvente. Este fato não acontece na extração por prensa elétrica, que faz uso dos grãos sem trituração.

5.2 Densidade a 20°C do óleo de gueiroba

O resultado da análise de densidade realizada com o óleo vegetal de gueiroba foi de **0,895 g.cm⁻³**. Não foram encontrados na literatura outros trabalhos onde tenha sido realizada a análise de densidade do óleo em questão para comparação.

Embora não haja especificação própria para os valores de densidade de matérias-primas na produção de bioquerosene ou biodiesel, os valores encontrados nas análises nos dão uma ideia do comportamento do biocombustível produzido a partir de tal matéria-prima. Portanto, é importante que as matérias primas estejam de acordo com as especificações dos combustíveis dos quais farão parte em mistura.

Podemos perceber que o valor de densidade encontrado para o óleo em estudo é menor que muitos outros óleos vegetais, como pode ser visto na Tabela 6. Este fato pode ser associado à composição de ácidos graxos de cada óleo. Por exemplo, o óleo da amêndoia da gueiroba é rico em ácido caprílico, cáprico, laurílico e mirístico (C8 a C14), como visto na Tabela 5. Estes ácidos possuem densidades semelhantes a densidade obtida no óleo, e por serem os mais presentes no óleo da amêndoia, suas densidades (0,8775; 0,8730; 0,8690 e 0,8671 a 20 °C (LAPUERTA; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ; ARMAS, 2010), respectivamente) refletem no valor de densidade final do óleo vegetal.

Tabela 6 - Densidade de óleos vegetais.

Óleo vegetal	Densidade a 20 °C (g.cm ⁻³)
Soja	0,919 – 0,925
Algodão	0,918 – 0,926
Girassol	0,917 – 0,923
Linhaça	0,914 – 0,922
Oliva	0,910 – 0,916

Fonte: Adaptado de Bockish (1998).

Portanto, é correto afirmar que os valores das densidades dos ácidos graxos que compõem um óleo vegetal refletem de maneira direta no valor de densidade deste óleo. O trabalho de Giakoumis; Sarakatsanis (2018) avaliou estatisticamente modelos de previsão de propriedades de biodiesel a partir da composição dos ácidos graxos de cada óleo, levando em consideração oito ácidos graxos saturados e insaturados (laurílico, mirístico, palmítico, esteárico, palmitoléico, oléico, linoléico, linolênico). Para a característica de densidade, os modelos apresentados foram bem-sucedidos na previsão da densidade do óleo levando em conta a composição dos ácidos graxos, com uma margem de erro insignificante.

Os autores Lapuerta; Rodríguez-Fernández; Armas (2010) também demonstraram estatisticamente que há correlação entre a densidade dos ésteres de ácidos graxos de uma matéria-prima e a densidade do combustível, o que implica em uma escolha cuidadosa da origem do biodiesel uma vez que a densidade mostrou-se dependente do perfil de ésteres.

O valor de densidade encontrado no óleo está acima dos valores recomendados para o querosene mineral, que limitam a densidade do combustível em 0,836 g.cm⁻³ na ANP e 0,778 e 0,840 g.cm⁻³ na ASTM D1655. Porém, não existem valores de referência para densidade de óleos na utilização dos mesmos como matéria-prima para produção de biodiesel leve. Segundo de Almeida et al., (2011) “os óleos com baixa densidade e baixa viscosidade são os preferidos para a produção de biodiesel” pois óleos mais densos geram combustíveis mais densos que podem ocasionar perdas de carga e diminuição em eficiência do processo.

5.3 Conteúdo de água do óleo de gueiroba

Os resultados obtidos na análise de conteúdo de água realizada através de titulador Karl Fischer são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Conteúdo de água do óleo vegetal.

Massa inserida (g)	Conteúdo de água (ppm ou mg.kg ⁻¹)	Média	Desvio padrão
0,0150	646,7		
0,0153	673,9	651,2	± 20,818
0,0148	633,0		

Fonte: Do Autor (2018).

A média foi calculada a partir de somatório simples e divisão pelo número de fatores, obtendo um valor médio de **651,2 ppm**. Para fins de comparação com outros trabalhos, utiliza-se o valor encontrado em mg/kg, que corresponde ao valor em partes por milhão numa proporção de 1:1, como descrito pela EMBRAPA ([s.d.]). Assim,

temos **651,2 mg.kg⁻¹ ± 20,818** de conteúdo de água no material. Se o valor for expresso em porcentagem, a partir da conversão de ppm para percentagem (UNESP, 2012), então teremos **0,065%** de conteúdo de água no óleo.

O trabalho de Shimamoto; Salomão; Tubino (2010) também utilizou o método de Karl Fischer para determinação dos teores de água em óleos vegetais. Os resultados estão expressos na Tabela 8.

Tabela 8 - Teores de água de óleos vegetais.

Tipo de óleo	Teor de água (mg.kg⁻¹)
Algodão	139 ± 15
Girassol	426 ± 11
Soja	539 ± 38
Castanha do Pará	994 ± 97

Fonte: Adaptado de Shimamoto; Salomão; Tubino (2010).

Os valores encontrados para o óleo de gueiroba indicam que o teor de conteúdo de água deste óleo é maior que o do óleo de soja, por exemplo, mas é um valor relativamente baixo se levarmos em conta outros tipos de castanha, como a castanha do Pará, conforme indicado na tabela. Não há limites estabelecidos pelas normas regulamentadoras para conteúdo de água das matérias-primas nem para produção de biodiesel nem de bioquerosene, porém, é de extrema importância que os teores de conteúdo de água de um óleo vegetal que visa a produção de biocombustíveis sejam mínimos, uma vez que altos teores de água podem provocar hidrólise de triglicerídeos, o que gera o aumento da acidez, formação de sabão e a diminuição dos rendimentos de reação na produção de biodiesel (FAUSTINO, 2015).

Nesse aspecto, a temperatura e a forma de estocagem podem ter influência. Para este material, a estocagem foi realizada em temperatura ambiente, em frasco

âmbar devidamente vedado, o que contribuiu para baixos teores de água presentes no óleo vegetal.

Alguns autores reportam valores de conteúdo de água consideradas como limites para o processo de transesterificação. Segundo Souza (2016), conteúdo de água acima de 0,5% podem causar problemas na reação de formação do biodiesel que foram citados anteriormente. Há também relato de que óleos com conteúdo de água acima de 0,25% não seriam adequados para a reação de transesterificação tradicional, sendo necessário realizar um processo de esterificação (VIEIRA et al., 2018).

Portanto, o óleo de gueiroba utilizado neste trabalho não ultrapassa nenhum dos limites propostos em literatura para limites máximos de conteúdo de água de matérias-primas para produção de biodiesel via transesterificação.

5.4 Índice de acidez do óleo de gueiroba

O principal órgão regulamentador brasileiro de óleos vegetais é a ANVISA. Mas o seu foco é na utilização dos óleos para alimentação, e não para produção de biocombustíveis.

Para a ANVISA, o índice de acidez limite é definido pela Resolução RDC Nº 270 de 22 de setembro de 2005, onde prevê que óleos e gorduras refinados tenham no máximo 0,6 mg KOH.g⁻¹, e óleos prensados a frio e não refinados tenham no máximo 4,0 mg KOH.g⁻¹. Mas, o óleo utilizado neste trabalho foi obtido através da utilização de solvente, processo que não consta na normativa da ANVISA.

Para a produção de biodiesel, é desejável que o índice de acidez do óleo vegetal seja baixo. Óleos com acidez elevada quando aplicados diretamente ao processo de transesterificação utilizando etanol, não apresentam a separação de fases de biodiesel e glicerina, devido provavelmente ao catalisador, que ao invés de

acelerar o processo de reação age para diminuir a acidez, o que afeta consideravelmente o rendimento do processo (GONÇALVES et al., 2009).

Os valores de “mL de NaOH” são aqueles que foram gastos na titulação do óleo. A “massa de amostra” é a medida em g da amostra de óleo inserida na titulação. Estes valores estão evidenciados na Tabela 9. O valor de “N” utilizado foi 0,1, que remete a normalidade da solução de NaOH.

Tabela 9 - Valores utilizados na fórmula para obtenção do índice de acidez.

NaOH (mL)	N	F	Massa de amostra (g)	Índice de acidez (mg KOH.g ⁻¹)	Média	Desvio padrão
3,0025	0,1	0,9875	7,0886	2,3474		
2,7145	0,1	0,9875	7,0471	2,1347	2,2398	0,1063
2,8385	0,1	0,9875	7,0310	2,2374		

Fonte: Do Autor (2018).

Os valores encontrados foram avaliados segundo média e desvio padrão, conforme ilustra a Tabela 9, sendo assim, o valor da acidez total do óleo de gueiroba desta análise foi de **2,2398 mg KOH.g⁻¹ ± 0,1063**.

Uma elevada acidez dificulta o processo de produção de biodiesel, e um biocombustível ácido pode levar a corrosão do motor e deterioração do combustível. Segundo Van Gerpel et al (2004) apud Oliveira et al (2015) a acidez elevada não é recomendada para a produção de biodiesel, devido ao fato de o catalisador neutralizar os ácidos graxos livres, diminuindo a quantidade de catalisador disponível para o processo de transesterificação, o que implica em aumento do tempo de reação e diminuição da eficiência.

Segundo El-Mashad; Zhang; Avena-Bustillos (2008) óleos vegetais com acidez até 3 mg KOH.g⁻¹ são aceitáveis para um bom rendimento do processo de transesterificação via catálise alcalina. Portanto, os valores encontrados na análise de acidez do óleo em estudo demonstram viabilidade do uso do óleo na produção de biocombustíveis, fazendo um recorte e tendo em vista somente o parâmetro da acidez.

5.5 Índice de peróxido do óleo de gueiroba

Segundo Rossel (1983) apud Antoniassi; Chaves; Machado (2006) o índice de peróxido é quem determina todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio a iodo; e são substâncias provenientes da oxidação das gorduras ou similares, como produtos primários da oxidação de lipídeos.

Além disso, é uma análise importante pois seus resultados poderão indicar uma estimativa do grau de degradabilidade da matéria-prima selecionada para produção de biocombustíveis, uma vez que a presença de peróxidos não é desejável em óleos, pois pressupõe processos degradativos (MELO, 2010).

Após o preparo da solução de tiossulfato de sódio 0,1 N e da sua padronização, que foram descritas anteriormente neste trabalho, realizou-se a titulação de 5 amostras.

O cálculo do consumo real apresentado na tabela acima foi realizado fazendo-se a subtração do valor de consumo da titulação do iodeto de potássio pelo valor obtido na titulação do branco. Para o cálculo da massa real do padrão levou-se em conta a quantidade de iodato de potássio inserido no balão de 250 mL. Foram inseridas 1,0720 g, valor que foi dividido por 250 (volume do balão), e após multiplicado por 5 (número de amostras). Obteve-se assim um valor de 0,0214 g para a massa real do padrão.

Fez-se ainda o cálculo do fator da solução de tiosulfato de sódio. Para tal utilizou-se o valor do equivalente grama do iodato de potássio, que corresponde a 35,5665. O valor foi dividido por 1000 para aplicação na Equação 7.

Foi realizada o cálculo da seguinte forma: massa real do padrão dividido pela multiplicação do equivalente de iodato de potássio vezes o valor real consumido na titulação do tiosulfato. Fez-se o cálculo para todas as amostras, e obteve-se um valor médio de 0,1284. Deste valor, foi obtido o fator da solução de tiosulfato de sódio, realizando uma divisão por 0,1. O valor encontrado foi de 1,2846.

Assim, partiu-se para a última fase da análise que se tratava da titulação do óleo. Foi realizado em quadruplicata, onde aproximadamente 5 g de amostra do óleo foram adicionadas a 30 mL de solução de ácido-clorofórmio 3:2, 0,5 mL de solução de iodeto de potássio e 30 mL de água.

Depois da titulação, os resultados obtidos foram inseridos na Equação 7, proposta na metodologia utilizada, que está evidenciada no item 4.3.4, para obtenção do valor final do índice de peróxido.

Foram utilizados ainda os valores de g de amostras inseridas, normalidade da solução de tiosulfato de sódio, fator da solução de tiosulfato de sódio, descrito anteriormente e volume gasto na titulação, evidenciados na Tabela 10.

Tabela 10 - Índice de peróxido das amostras de óleo.

Massa de óleo (g)	Volume gasto (mL)	Teor (meq.kg ⁻¹)	Índice de peróxido (meq.kg ⁻¹)	Média	Desvio padrão
5,0201	0,017	0,432	0,4350		
4,9984	0,015	0,377	0,3855		
5,0028	0,016	0,401	0,4108	0,3784	0,0670
5,0018	0,011	0,276	0,2825		

Fonte: Do Autor (2018).

Foram realizadas análises de média e desvio padrão dos resultados obtidos. Portanto, o valor final da análise do índice de peróxido para o óleo de gueiroba é de **0,3784 ± 0,0670 meq.kg⁻¹**.

Sugere-se que óleos para produção de biodiesel tenham índice de peróxido de no máximo 10 meq.kg⁻¹ de amostra (FAUSTINO, 2015). Dessa forma, o valor evidenciado é interessante visto que quanto mais baixo o índice de peróxido de um óleo mais eficaz se torna o processo de produção de biodiesel, indicando uma baixa possibilidade de deterioração oxidativa e um baixíssimo grau de degradação do óleo.

Este fato também está associado a qualidade da matéria-prima, que foi selecionada de forma criteriosa e estocada de forma limpa e adequadamente acondicionada. Como visto anteriormente, somente amêndoas saudáveis foram selecionadas, o que contribuiu para um baixo índice de peróxido.

5.6 Produção de biodiesel

Para a produção do biodiesel foram utilizados no total 2.900 g correspondentes a 3.200 mL de óleo vegetal, que proporcionaram uma produção de 2.211,6 g que correspondem a 2.500 mL de combustível e um total de 501,5 g de glicerina, como subproduto da produção.

Para o cálculo da estimativa do rendimento em massa do biodiesel produzido foi utilizada a Equação 9 segundo Gabriel (2015):

$$\text{Equação 9: } R\% = \frac{\text{Massa do Biodiesel (g)}}{\text{Massa do óleo (g)}} \times 100$$

onde temos $R\% = \frac{2.211,6}{2.900} \times 100\%$ o que resultou em **76,3%** de rendimento.

Utilizando também a Equação 9, porém utilizando “massa de glicerina” e “massa de óleo” como variáveis, foi feito o cálculo da glicerina formada durante a reação. Isto permitiu realizar o cálculo da perda do processo, fazendo-se a subtração entre os valores de biodiesel e de glicerina formadas, o que é evidenciado na Tabela 11.

Tabela 11 - Rendimentos da produção de biodiesel.

Matéria-prima (g)	Biodiesel (g)	Glicerina (g)	Perdas (g)
2.900,0	2.211,6	501,5	186,9
Rendimentos (%)	76,3	17,3	6,4

Fonte: Do Autor (2018).

O valor das perdas pode ser atribuído a formação de sabão e carreio durante a etapa de purificação do biodiesel, que foi realizado de forma manual, da mesma forma que para a remoção da glicerina. A respeito da formação de sabão, o uso de álcoois não anidros pode favorecer as reações de saponificação. Além disso, o metanol utilizado não passou por nenhum processo de remoção de água, que também é um dos agentes da reação de formação do sabão. Isto também contribui de forma negativa para a reação de transesterificação, pois a presença do sabão reduz a eficiência da reação, uma vez que há o consumo do catalisador por parte do sabão formado (LIMA et al., 2007).

O rendimento foi satisfatório tendo em vista trabalhos relatados na literatura, como o de Lima et al. (2007) que fez uma transesterificação metanólica de babaçu, obtendo 71,8% de rendimento para biodiesel.

A glicerina obtida tem aparência amarelo clara, o que indica a pouca presença de contaminantes e impurezas. Este fato pode ser atribuído à boa qualidade das amêndoas, que foram selecionadas de forma a se obter uma matéria-prima sem impurezas, limpas e com altos teores de óleo.

Este fator contribui bastante para o aproveitamento comercial do produto, que necessita de menos processos de purificação, e se torna economicamente mais atrativo, contribuindo também para a produção do biodiesel, diminuindo seu custo de produção através da comercialização do subproduto.

5.7 Destilação atmosférica do biodiesel

A destilação atmosférica do biodiesel produzido foi realizada em processo de bateladas, divididas em 3 sistemas. A Tabela 12 mostra as quantidades de biodiesel utilizadas e as quantidades de biodiesel leve produzidas.

Tabela 12 - Resultados do processo de destilação atmosférica do biodiesel.

Biodiesel (mL)	Biodiesel (g)	Biodiesel leve (mL)	Biodiesel leve (g)
800	700	455	393
800	700	480	400,6
800	700	500	417

Fonte: Do Autor (2018).

O total de biodiesel leve produzido na destilação foi de 1.435 mL, utilizando um volume de 2.400 mL de biodiesel. Este montante corresponde a 59,79% em volume.

Tendo em vista o trabalho de Harter; Santos; Fabris (2018) que foi o estudo norteador para este procedimento, houve obtenção de frações elevadas na faixa de C8 a C14. Sendo assim, a interrupção do processo em 59,79% foi bastante satisfatória, tendo em vista também o objetivo de separar a fração entre C8 e C14.

5.8 Teor de ésteres

Os resultados obtidos na análise da composição dos ésteres do biodiesel, do biodiesel leve, e do resíduo de destilação são evidenciados na Tabela 13. Os cromatogramas de cada amostra são evidenciados nos Anexos 7.3, 7.4 e 7.5.

Importante ressaltar que para os cromatogramas há uma diferença entre a intensidade dos picos, como pode ser visto nos anexos. Isto se dá devido ao volume de injeção de cada amostra, que foi variável, com média de 1 microlitro de injeção. Conforme visto no item 4.6.1, o volume de injeção não faz diferença no resultado final, visto que é levado em conta a concentração e não o volume.

Tabela 13 - Composição de FAME's de cada amostra.

Amostras	Composição de ésteres metílicos de ácidos graxos (%)								
	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Biodiesel	10,5	5,5	23,3	4,7	7,0	3,2	15,9	27,3	2,5
Gueiroba									
Biodiesel	22,5	9,9	43,3	11,1	3,71	2,1	6,3	1,2	-
Destilado									
Resíduo	0,9	1,0	25,7	21,5	11,9	8,5	26,1	4,3	-
destilação									

Fonte: Do Autor (2019).

Conforme os resultados indicam, o processo de destilação atmosférica foi eficiente tendo em vista o objetivo de concentração da fase leve (C8 a C14) do biodiesel leve, chegando a 86,8% de compostos nesta faixa. É evidente o aumento da concentração dos compostos C8, C10, C12 e C14 da amostra de biodiesel para a amostra de biodiesel leve (destilado); e também, ao mesmo tempo, a diminuição dos compostos C16, C18, C18:1 e C18:2.

Este aspecto é de extremo valor visto que para o uso como componente de combustíveis de aviação, esta faixa curta é a mais indicada, como foi discutido anteriormente. E ainda, o baixo teor de compostos de cadeias carbônicas maiores é essencial devido a sua influência negativa sob propriedades importantes como ponto de congelamento.

Por outro lado, é importante ressaltar que o resíduo ainda mostra teores consideráveis de cadeias C12 e C14, que são importantes para compor combustíveis de aviação. Neste aspecto, ressalta-se que o processo de destilação atmosférica ainda está em desenvolvimento e precisa ser otimizado, principalmente nos parâmetros de temperatura e ponto de corte para minimizar as perdas de compostos importantes, e concentrar ao máximo a faixa de interesse. Por mais que os teores obtidos na amostra destilada para a faixa C8-C14 representem 86,8%, a amostra residual demonstra que este teor poderia ser maior, principalmente relativo a cadeia C14, que possui maior concentração no resíduo que no biodiesel leve.

Para o resíduo da destilação, os valores encontrados são satisfatórios para que este possa ser utilizado como sendo biodiesel, propriamente dito. Portanto, pode-se aproveitar totalmente os produtos formados durante o processo, sendo a fração leve para o uso como combustível de aviação, e o resíduo, portando compostos mais pesados como C18 para biodiesel de uso rodoviário.

5.8 Densidade a 15 °C e 20 °C

Os resultados de densidade relativa obtidos para os blends de biodiesel leve são mostrados na Tabela 14. A comparação se dá com as Resoluções ANP 778 e ASTM D1655, que ditam os limites de densidade a 20 °C e a 15 °C respectivamente.

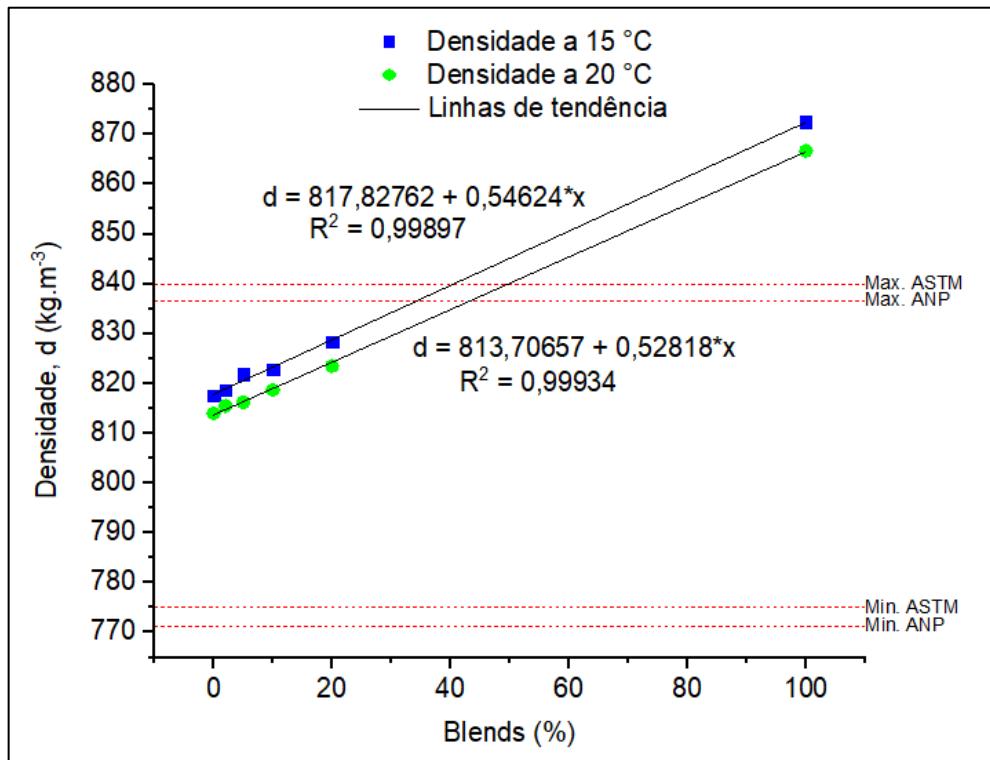
Tabela 14 - Densidade dos blends de biodiesel leve a 15 °C e a 20 °C.

Blends (%)	Densidade a 15 °C (kg.m ⁻³)	ASTM D1655 (kg.m ⁻³)	Densidade a 20 °C (kg.m ⁻³)	ANP 778 (kg.m ⁻³)
0 (Querosene Mineral)	817,5		814,0	
2	818,6		815,5	
5	821,9		816,2	
10	822,9	775 a 840	818,7	771,3 a 836,6
20	828,4		823,5	
100 (Biodiesel leve)	872,5		866,7	

Fonte: Do Autor (2018).

Os dados foram tratados com auxílio do programa OriginPro 2019 versão 8.5 e são evidenciados os resultados obtidos nas análises de densidade e os limites estabelecidos pelas entidades regulamentadoras dentro da Figura 17.

Figura 17 - Análise de densidade dos blends a 15 °C e a 20 °C.



Fonte: Do Autor (2018).

Os resultados demonstram que para todos os blends onde há mistura entre o biodiesel leve e o querosene mineral (linhas e símbolos em amarelo e vermelho), a densidade tanto a 15 °C como a 20 °C estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANP e também pela ASTM.

É notório o aumento da densidade da amostra com o aumento da participação do biodiesel leve na mistura, sendo uma propriedade aditiva e constituindo variáveis diretamente proporcionais. Ou seja, quanto mais biodiesel leve no blend, maior será a densidade, fato que pode ser explicado pela presença de ésteres de ácidos graxos na mistura, ou seja, quanto mais ésteres, maior a densidade. Também é correto dizer que a densidade das amostras diminui conforme o aumento da temperatura da análise (variáveis inversamente proporcionais) o que é evidenciado nas amostras a 15 °C e a

20 °C que têm diferenças de densidade. Fato que pode ser explicado pela relação entre a massa e o volume: uma vez que temos o aumento da temperatura, temos também a dilatação do combustível, que leva a um aumento do volume e consequentemente diminuição entre a relação peso e volume, diminuindo assim o valor absoluto de densidade.

O estudo de Pratas et al., (2010) evidenciou que o aumento do comprimento da cadeia alquílica faz com que haja diminuição no valor de densidade de ésteres metílicos, portanto, para cadeias curtas temos compostos com maior densidade que compostos de cadeias maiores, como C16 e C18 por exemplo.

Ainda de acordo com o artigo, as densidades dos compostos entre o intervalo C8 a C12, a 15 °C variam de 881,5 kg.m⁻³ até 873,7 kg.m⁻³ e a 20 °C este mesmo intervalo tem densidade variando entre 877,1 kg.m⁻³ e 869,9 kg.m⁻³. Estes valores estão bem representados na densidade obtida para a amostra de 100%, o que quer dizer que a densidade do biocombustível produzido traduz com alta confiança a densidade dos seus componentes, e que a mistura com o querosene comercial não traz influências significativas a não ser a propriedade aditiva, que já era esperada, devido aos valores de densidade dos compostos serem maiores que a densidade do querosene comercial.

O biodiesel leve puro (ou amostra de 100%), não está de acordo com os parâmetros estabelecidos pelas normas regulamentadoras, o que implica dizer que seu uso sob a forma pura não demonstra viabilidade técnica. Porém, para as misturas, é certo dizer que tendo em vista somente o parâmetro de densidade (ou massa específica), o biodiesel leve aliado ao querosene mineral numa mistura de até 20% poderia sim ser utilizado como combustível de aviação.

Amostras com participação acima de 20% de biodiesel leve devem ser estudadas, pois o resultado do blend de 20% está longe dos limites estabelecidos. Utilizando as equações das retas demonstradas na Figura 17, é possível avaliar que amostras até 40% atenderiam os limites da ANP e da ASTM.

5.9 Conteúdo de água

Os resultados obtidos na análise de conteúdo de água dos blends do biodiesel leve de gueiroba são evidenciados na Tabela 15 e na Figura 18, a partir de um gráfico gerado no OriginPro.

Tabela 15 - Conteúdo de água.

Blends (%)	Conteúdo de água (ppm)
0 (Querosene)	5
2	1,4
5	1,6
10	4,3
20	4,9
100 (Biodiesel leve)	25

Fonte: Do Autor (2018).

Este parâmetro não está presente nas normas regulamentadoras, nem a nível nacional pela ANP nem internacionalmente pela ASTM. Porém, a análise de conteúdo de água é importante do ponto de vista de segurança do motor, visto que a longo prazo a água pode trazer problemas de corrosão, desgaste e entupimento de filtros e outras peças (LLAMAS et al., 2012a).

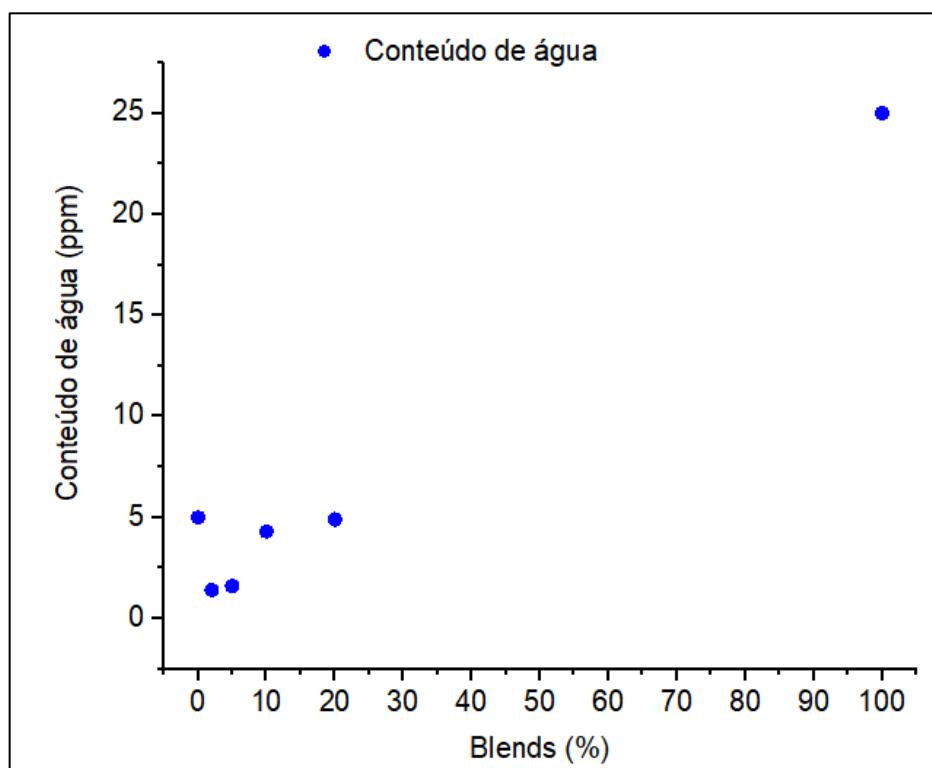
Segundo Baena-Zambrana et al., (2013) o teor de água deve ser mantido abaixo de níveis toleráveis, mesmo que o motor consiga queimar uma mistura entre água e combustível, a presença de água é indesejável e potencialmente perigosa. Há um nível tolerável de 90 partes (água) por milhão por volume (ppm-v) para operações normais do sistema e até 260 ppm-v para operações de sistemas de emergência.

Como não há parâmetros nas normas regulamentadoras, tomamos como ponto de comparação o teor de conteúdo de água da amostra de querosene mineral, que evidenciou um resultado de 5 ppm. Então, para um parâmetro ainda mais restritivo

que o proposto em literatura, podemos dizer que somente amostras com menos de 5 ppm de conteúdo de água seriam satisfatórias para este parâmetro, uma vez que o produto comercial admite tal valor.

Os resultados obtidos são satisfatórios do ponto de vista das misturas, não sendo necessário nenhum processo de remoção de água e evidenciando a eficiência dos processos anteriores de evaporação, estufa e dessecador, como visto no item 4.4. O teor de água do biodiesel leve puro sem mistura se mostrou acima do restante das amostras, o que já era esperado. Fato importante demonstrado foi que a mistura com o biodiesel leve tende a baixar o conteúdo de água do querosene mineral, como é evidenciado nas amostras de 2, 5, 10 e 20%, sem justificativa prévia, necessitando de maior investigação.

Figura 18 - Conteúdo de água dos blends e amostras puras.



Fonte: Do Autor (2018).

5.10 Perfil de destilação

A análise do perfil de destilação é regulamentada pela ANP e também pela ASTM, sendo os mesmos limites para as duas normas. Os resultados obtidos nesta análise são evidenciados na Tabela 16, bem como os limites regulamentados.

Tabela 16 - Perfil de destilação.

Característica	Especificação (ANP e ASTM)	Querosene (0%)	Blend 2%	Blend 5%	Blend 10%	Blend 20%	Biodiesel leve (100%)
P.I.E (°C)	Anotar	154,0	162,0	156,0	151,0	131,0	64,0
10% evaporado (°C)	Máx. 205,0	173,0	180,0	178,0	178,0	180,0	212,0
50% evaporado (°C)	Anotar	202,0	207,5	206,0	206,5	211,0	249,0
90% evaporado (°C)	Anotar	233,0	234,0	231,0	239,0	247,0	272,0
P.F.E (°C)	Máx. 300,0	245,0	252,0	257,0	263,0	271,0	303,0
Resíduo (% volume)	Máx. 1,5	1,5	1,2	1,3	1,4	1,4	1,8

Fonte: Do Autor (2018).

Os resultados obtidos demonstram mais uma vez conformidade com as especificações previstas nas regulamentações da ANP e também da ASTM, para todas as misturas. Porém, o biodiesel leve puro mais uma vez encontra-se fora dos limites estabelecidos, o que consolida sua inviabilidade técnica para uso sem mistura ao querosene mineral. Mesmo fora dos limites estabelecidos, podemos perceber que os valores obtidos extrapolam os limites por uma faixa bem pequena.

Não foram encontrados sinais de linearidade entre os valores de P.I.E. Para o ponto inicial de ebulição há um aumento do parâmetro no blend de 2% e um posterior decréscimo no blend de 5%, que segue decrescendo com o aumento da mistura.

Para o P.F.E temos evidenciado um aumento da temperatura de ebulição final conforme há o aumento da participação do biodiesel leve nas misturas. Isso se justifica

pelo valor encontrado na amostra pura, que extrapola por pouco o limite das legislações.

Há um padrão que se mostra de forma crescente de acordo com o aumento dos blends: o aumento da faixa entre o P.I.E e o P.F.E. É interessante analisar que os parâmetros da análise de destilação são influenciados de duas formas distintas. Ou seja, conforme temos o aumento da participação de biodiesel leve na mistura, temos ao mesmo tempo o aumento do P.F.E e a diminuição do P.I.E, conforme evidenciado na Figura 19.

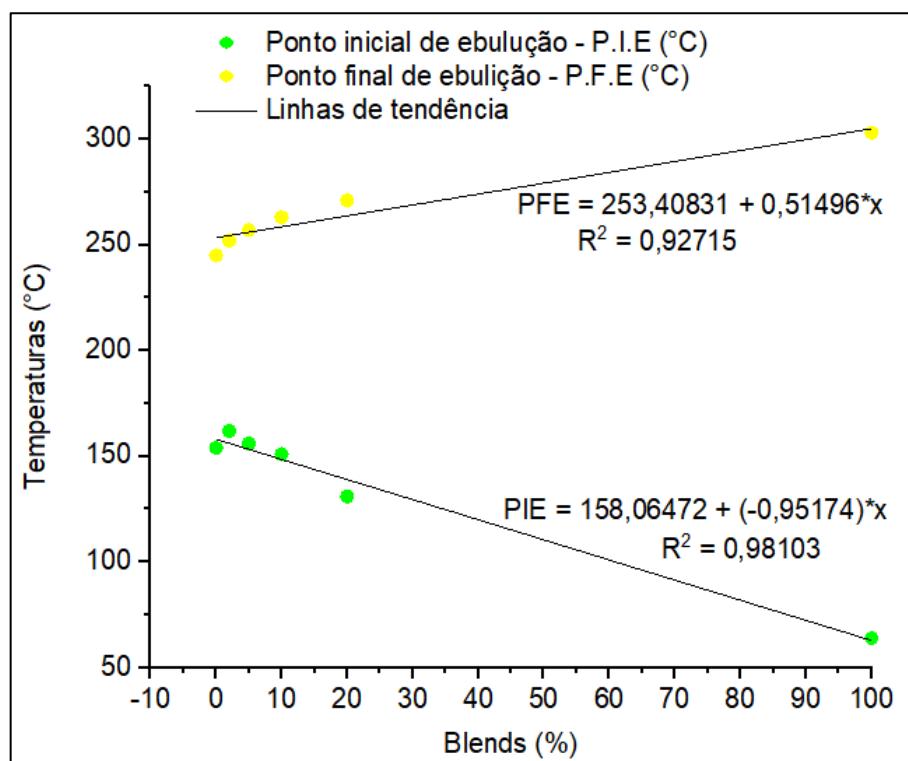
Este fato pode ser justificado pela composição do biocombustível produzido, agora rico em ésteres metílicos de ácidos graxos, ou FAME's, termo introduzido anteriormente. Como inicialmente o óleo era rico em ácido caprílico (C8), cáprico (C10), láurico (C12) e mirístico (C14), a partir do processo de transesterificação, houve conversão destes ácidos em ésteres, portanto, estes compostos agora são denominados como ésteres metílicos, por exemplo: éster metílico de ácido octanóico, do inglês *octanoic acid methyl ester*, para se referir ao que antes era ácido caprílico, ou ácido octanóico, e agora, com a adição de um novo carbono, proveniente da cadeia do éster, se torna C9. Este fato ocorre para todos os compostos, então temos um biocombustível rico em ésteres metílicos de ácidos graxos de cadeias C9, C11, C13 e C15.

Os pontos de ebulação destes ésteres são relativamente altos, sendo 194-195 °C para o C9; 223-225 °C para o C11; 261-262 °C para o C13 e 296-300 °C para o C15 (CHEMSPIDER, 2015a), (CHEMSPIDER, 2015b), (CHEMSPIDER, 2015c), (CHEMSPIDER, 2015d). Dessa forma, estes pontos de ebulação podem ter influenciado o comportamento da curva do P.F.E, que cresce segundo aumenta a participação do biodiesel leve na mistura, e consequentemente conforme aumenta também o teor destes ésteres no biocombustível. Já por outro lado, na curva de P.I.E temos que o ponto de ebulação do metanol, 64,6 °C (LIDE, 2005), que ainda pode estar presente no biocombustível, faz o “arraste” da curva para baixo, e evidencia um baixo ponto P.I.E da amostra pura.

Estas características estão de acordo com o que diz o autor Yang et al., (2019), que afirma que o comprimento da cadeia é um fator dominante para o ponto de ebulição, assim como para a análise de destilação de combustíveis de aviação.

Outro ponto relevante para os resultados obtidos foram os valores encontrados para o resíduo, que demonstraram diminuir com a adição do biodiesel leve ao querosene comercial. Este parâmetro é importante pois resíduos no combustível podem gerar formação de borras, entupimentos de bicos e outros problemas relacionados. Mais uma vez, a amostra de biodiesel leve pura não se encontra dentro dos limites estabelecidos pelas normas regulamentadoras.

Figura 19 - Ponto inicial e ponto final de ebulição de cada amostra.



Fonte: Do Autor (2019).

5.11 Ponto de fulgor

A análise do ponto de fulgor foi realizada também tendo em vista as regulamentações da ANP e da ASTM. Os resultados obtidos são ilustrados na Tabela 17 e na Figura 20, de um gráfico elaborado com auxílio do programa OriginPro.

Tabela 17 - Ponto de fulgor.

Blends (%)	Resultados	ANP 778 (Mín. °C)	ASTM D1655 (Mín. °C)
0 (Querosene Mineral)	47		
Blend 2	53,5		
Blend 5	52	38 ou 40	38
Blend 10	51		
Blend 20	49		
100 (Biodiesel Leve)	60		

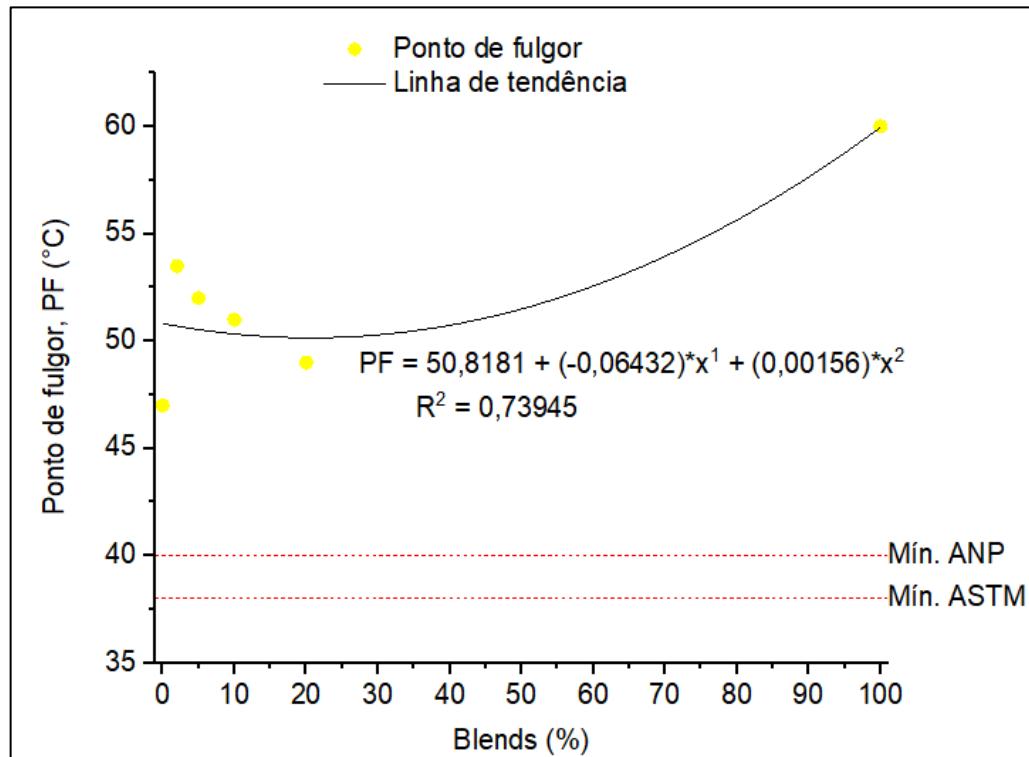
Fonte: Do Autor (2018).

Os resultados obtidos na análise evidenciam que para todos os blends, o ponto de fulgor encontra-se dentro dos limites estabelecidos pelas regulamentações, nacionais e internacionais. Diferentemente das outras análises, a amostra pura também se enquadra dentro das especificações, demonstrando um ponto de fulgor bastante alto, que é um ponto de evidência.

Fato de importante destaque é a diminuição do ponto de fulgor com o aumento da participação de biodiesel leve na mistura, constituindo assim grandezas inversamente proporcionais. Segundo Farah, (2012), o ponto de fulgor é inversamente proporcional a presença de frações leves, e é tanto menor quanto maior é o teor destas frações. Este fator é de grande importância visto que este parâmetro tem

somente uma faixa mínima, então, quanto mais longe da faixa melhor o desempenho do combustível na atuação em aeronaves.

Figura 20 - Ponto de fulgor de cada amostra.



Fonte: Do Autor (2018).

Tendo em vista o comportamento da curva do gráfico gerado, é esperado que o ponto de fulgor volte a aumentar em algum momento, evidenciando um comportamento de parábola, de concavidade neste caso, para cima. O alto valor do ponto de fulgor encontrado na amostra pura nos mostra que é bastante provável que as misturas – em qualquer proporção - não ficariam abaixo dos limites estabelecidos. A variação dos resultados está dentro da faixa esperada, entre os limites do querosene

mineral e do biodiesel leve puro, e amostras com misturas de até 20% estão dentro dos parâmetros estabelecidos pelas agências regulamentadoras.

5.12 Poder calorífico

O poder calorífico pode ser definido como sendo a medida de energia disponível a partir de um combustível, sendo uma informação qualitativa, de valor essencial para a determinação dos rendimentos de equipamentos de geração de energia ou calor. (FRANCESQUETT et al., 2013).

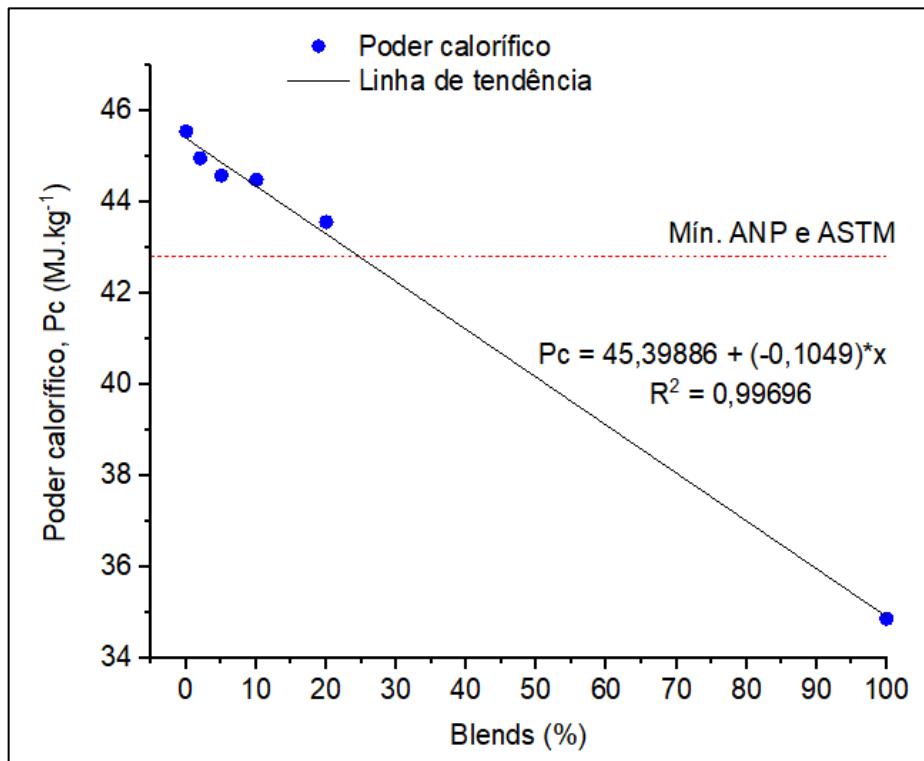
No caso dos combustíveis de aviação, as normas da ANP e da ASTM estabelecem o mesmo limite mínimo de 42,8 MJ.kg⁻¹ para o poder calorífico do querosene. A Tabela 18 e a Figura 21 mostram os resultados obtidos nesta análise para os blends de biodiesel leve de gueiroba.

Tabela 18 - Poder calorífico.

Blends (%)	Poder calorífico (MJ.kg ⁻¹)	ANP 778 e ASTM D1655 (Mín.)
0 (Querosene Mineral)	45,553	
2	44,966	
5	44,586	
10	44,492	42,8
20	43,564	
100 (Biodiesel Leve)	34,861	

Fonte: Do Autor (2018).

Figura 21 - Poder calorífico de cada amostra.



Fonte: Do Autor (2018).

O poder calorífico está positivamente relacionado a razão entre hidrogênio e carbono (relação H/C), o que explica um maior poder calorífico do querosene comercial, que tem hidrocarbonetos em sua composição. (YANG et al., 2019). Dessa forma, por se tratar de uma mistura de ésteres que possuem oxigênio em sua composição, naturalmente o poder calorífico deste biocombustível tende a ser menor. Outro fator que pode influenciar no baixo poder calorífico de um combustível é a presença de água, porém, como visto na seção de análise de conteúdo de água das amostras, este biocombustível possui um valor baixo de teor de água contido em sua composição, portanto, acredita-se que estes valores estejam atrelados intrinsecamente a presença do oxigênio na função molecular dos ésteres presentes no biodiesel leve e consequentemente nas misturas com o querosene mineral.

A amostra de biodiesel leve tem um poder energético bem menor que as amostras em mistura, o que pode refletir em perda de eficiência energética em uma aeronave. Porém, o objetivo é utilizar o biocombustível sob a forma de blends, que demonstraram viabilidade para este parâmetro.

Os resultados obtidos indicam conformidade do parâmetro para todos as misturas utilizadas, e mostram uma variação bem pequena entre as amostras. Em consonância com as análises anteriores, o biodiesel leve puro também não se encontra dentro do parâmetro estabelecido para o poder calorífico, o que inviabiliza sua utilização de outro modo que não seja na forma de blends.

É notório a diminuição percentual do parâmetro conforme o aumento do teor de biodiesel leve, sendo assim, grandezas inversamente proporcionais. É correto dizer que para amostras com misturas maiores que 30%, o poder calorífico atenderia o estabelecido pelas normas, pois, fazendo-se uso da equação da reta, o valor de poder calorífico ainda ficaria acima do mínimo estabelecidos pelas normas regulamentadoras.

5.13 Ponto de congelamento

O ponto de congelamento dos blends e das amostras puras foi avaliado segundo os dados obtidos em análise térmica de calorimetria diferencial exploratória (DSC), como dito anteriormente.

A determinação do ponto de fusão das amostras de combustíveis não é uma tarefa fácil usando a técnica de DSC. Isso se dá devido à complexidade do perfil observado nas endotermas, que são extensas, o que indica que mais de uma fase cristalina está sendo fundida durante a etapa de aquecimento.

Considerando a natureza dos combustíveis e biocombustíveis é de se esperar este comportamento, uma vez que existem vários componentes na mistura que

fundem em diferentes temperaturas e a complexidade das endotermas surge devido a uma possível superposição de várias endotermas de fusão em uma ampla faixa de temperatura (MOYNIHAN; SHAHRIARI; BARDAKCI, 1982).

As curvas de DSC dos blends principalmente com maior proporção de biocombustível são ainda mais complexas, uma vez que para o querosene é possível a existência de vários alcanos e aromáticos e no caso do biodiesel existem vários ésteres dependendo da fonte oleaginosa utilizada, que contribuem para o perfil da curva de DSC.

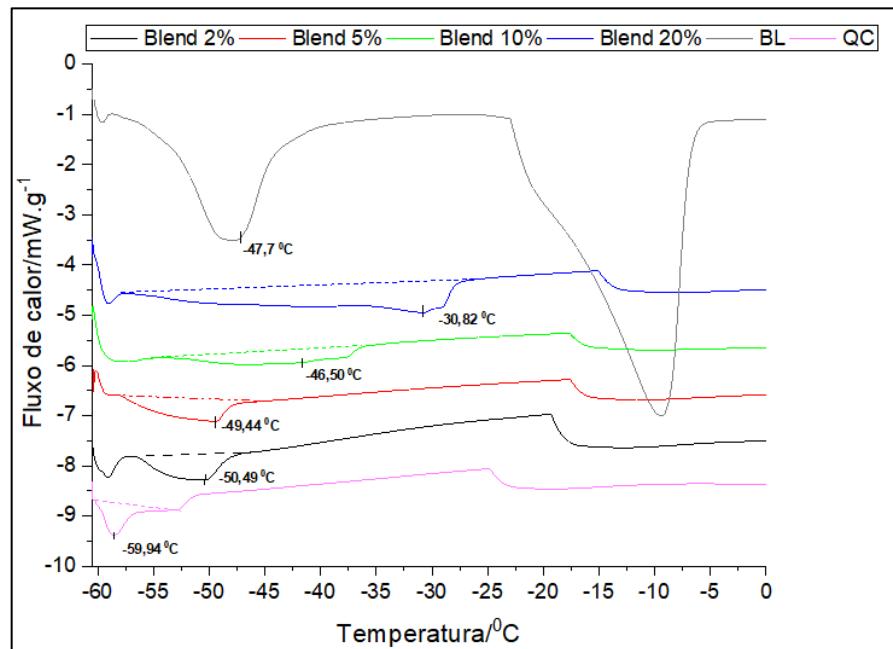
A análise dos dados foi realizada com os dados obtidos na primeira varredura, visto que não foram verificadas diferenças significativas entre a primeira e a segunda varredura.

As curvas obtidas foram avaliadas quanto ao aquecimento da amostra, ou seja, a partir do resfriamento da amostra a -60 °C, a leitura foi sendo realizada conforme a amostra foi aquecida na temperatura determinada, onde a mudança de fase indica o ponto de fusão.

Os resultados obtidos por cada método utilizado na determinação do ponto de congelamento são evidenciados nas Figuras 22 e 23, que mostram os termogramas de cada amostra analisada, bem como o ponto de congelamento indicado para cada uma delas.

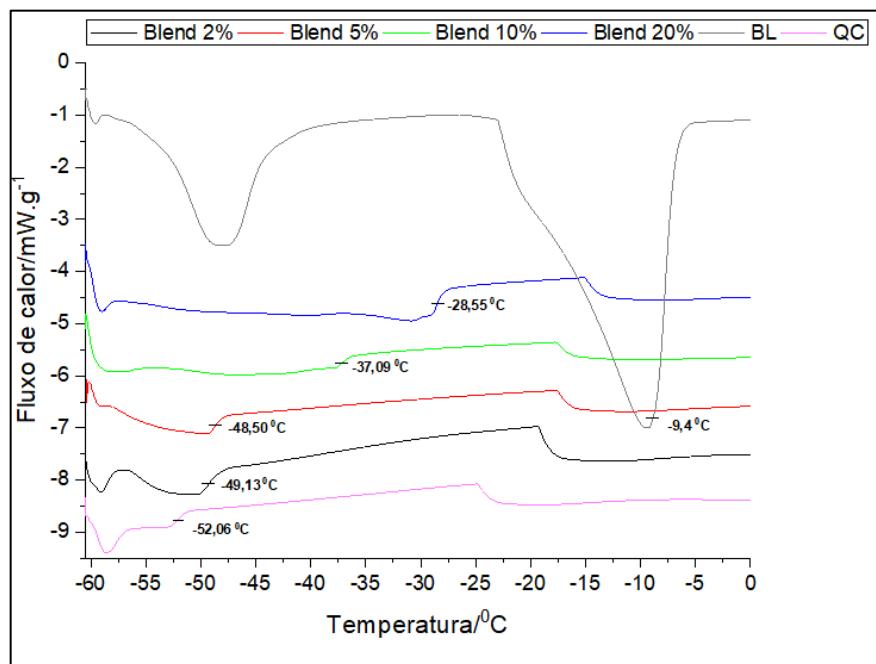
Destaca-se que resultados diferentes foram encontrados nos dois métodos empregados. Porém, eles seguem uma linha geral de tendência, a partir da composição de cada amostra analisada, como é evidenciado na Figura 24.

Figura 22 - Termograma e pontos de congelamento pelo método 1.



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 23 - Termograma e pontos de congelamento pelo método 2.



Fonte: Do Autor (2019).

Os dados de DSC mostram diferenças significativas entre as curvas de DSC do querosene e do biodiesel. Para a curva de DSC do querosene apresenta um perfil complexo no qual se observa um primeiro evento térmico em baixa temperatura próximo a -59,94 °C que aparece junto a um evento mais amplo com temperatura próxima a -52,06 °C. O evento com temperatura próxima a -52,06 °C, está associado a fusão do querosene, uma vez que a pode apresentar ponto de fusão entre -55 °C a -45 °C dependendo de sua procedência e grau de pureza.

Para o biodiesel leve (BL) observam-se dois eventos: um em -47,7 °C e outro em -9,4°C, este último sendo associado ao ponto de congelamento desta amostra. Se analisarmos os pontos de congelamento dos compostos isoladamente, temos que para o composto mais abundante – segundo a amostra cromatográfica – que é o éster metílico do ácido dodecanoico, seu ponto de congelamento é de 5°C (CHEMSPIDER, 2015d). E para os demais compostos mais abundantes que são os ésteres metílicos dos ácidos octanoico, decanoico e tetradecanoico, temos -40 °C; -18 °C e 18 °C respectivamente para pontos de congelamento (CHEMSPIDER, 2015c); (CHEMSPIDER, 2015b); (CHEMSPIDER, 2015a).

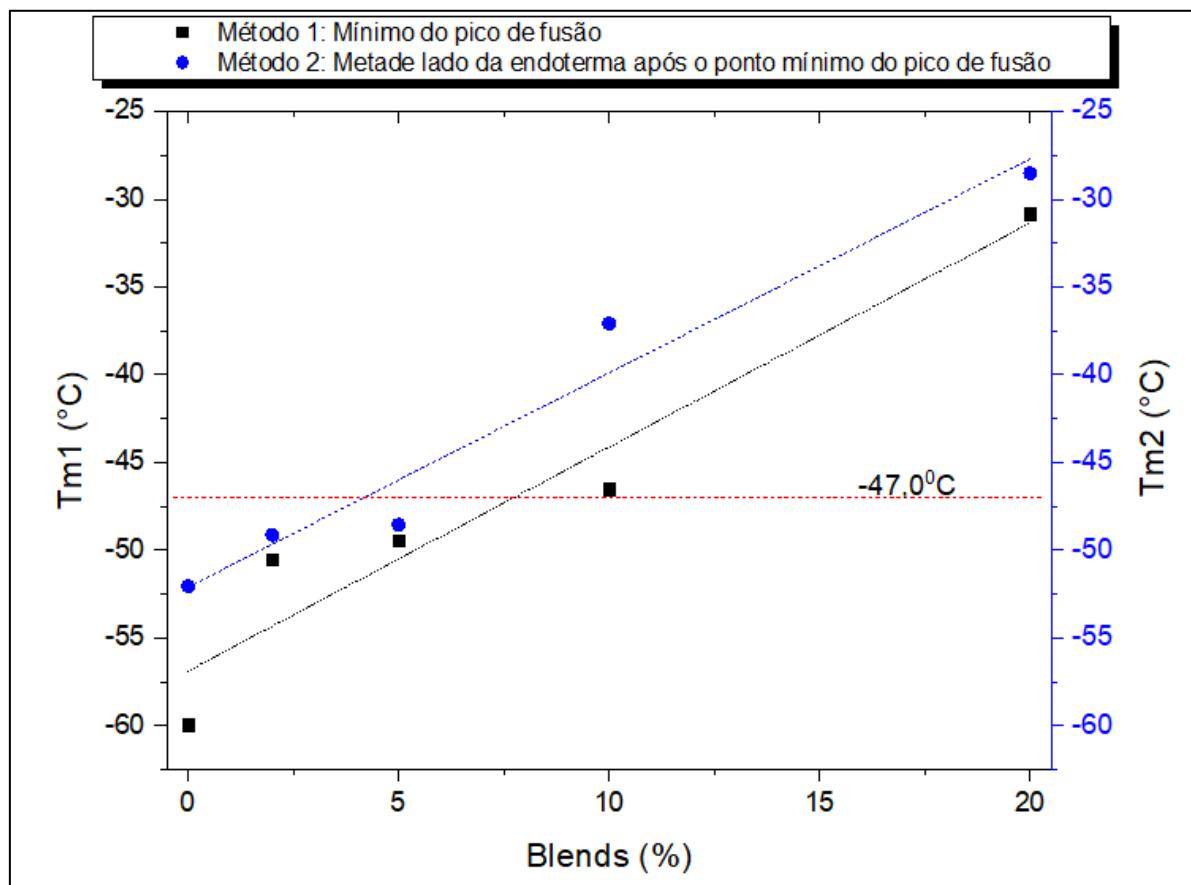
Os pontos de congelamento destes compostos principais representam bem o valor de -9,4 °C encontrado nas análises, principalmente se levarmos em conta um valor médio entre estes compostos, que nos daria um valor de -8,7 °C, bem próximo do encontrado. Ressalta-se ainda que há a influência de outros compostos que estão presentes dentro do biocombustível, com diferentes tamanhos de cadeia e diferentes pontos de congelamento.

Os dois eventos estão associados a fusão dos ésteres metílicos, considerando as frações de diferentes números de átomos de carbono e porcentagem de cada componente. Os blends apresentam perfil mais típico do querosene, fato deste componente estar em maior proporção na mistura, observa-se inicialmente uma mudança na posição da temperatura de fusão da mistura e depois do perfil da curva com o aumento da proporção de biodiesel, conforme é possível ser observado nas Figuras 22 e 23.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que apenas os blends com 2% e 5% de biodiesel leve são adequadas para aplicação como querosene de aviação considerando a temperatura de fusão da mistura que não pode ser superior a -47°C, segundo a ANP e também a ASTM.

Neste sentido é possível empregar o biodiesel produzido desta fonte neste limite para esta finalidade. Do ponto de vista da aplicação do biodiesel é interessante buscar fontes oleaginosas que apresentem em sua composição maior porcentagem de ésteres de cadeia curta. Ambos os métodos de determinação da temperatura de fusão fornecem as informações necessárias para as discussões neste trabalho, este fato pode ser atestado pelos dados apresentados na Figura 24.

Figura 24 - Comparação entre os dados obtidos por cada método utilizado.



Fonte: Do Autor (2019).

Em comparação com resultados apresentados na literatura, Llamas et al., (2012) e Llamas et al., (2012b) obteve valores parecidos para o ponto de congelamento, onde somente misturas de 5% e 10% atenderam ao limite de -47 °C, para biocombustíveis provenientes de camelina, babaçu, palmiste e coco.

Da mesma forma, outro estudo realizado pelo mesmo grupo de pesquisa deste trabalho obteve resultados semelhantes para macaúba e palmiste, onde somente 5% de mistura em volume atenderam a legislação vigente, obtendo pontos de congelamento de -3,1 °C para a amostra pura de macaúba e -5 °C para a amostra pura de palmiste (SILVA, 2019).

Em suma, esta propriedade está bastante alinhada ao teor e composição do biocombustível, como é descrito por Yang et al., (2019), que afirma que o ponto de congelamento está intimamente associado a três fatores principais, que são o teor de iso-parafinas, o teor de aromáticos alquilados e o comprimento da cadeia de carbono das bio-parafinas. De acordo com isto, Zhang et al., (2016) também afirma que o ponto de congelamento é fortemente dependente do número de carbonos e da fração de n-parafinas.

O ponto de congelamento do biodiesel é bastante alto se comparado ao querosene mineral, o que o torna inviável para uso em voos com altas altitudes (KANDARAMATH HARI; YAAKOB; BINITHA, 2015).

O que se percebe é que isto é um problema para biocombustíveis compostos por ésteres e não ocorre com biocombustíveis compostos por hidrocarbonetos. Este fato é bem demonstrado pelo trabalho de Khan et al., (2019), que evidencia pontos de congelamento de -65 °C até -50 °C para hidrocarbonetos de diferentes matérias-primas. Portanto, seria ideal um processo de desoxigenação destes ésteres para que o combustível seja composto somente por hidrocarbonetos, e assim poderia ser utilizado em misturas maiores que 5 e 10%.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram o potencial do uso do óleo de gueiroba na produção do biodiesel leve para o uso como combustível de aviação sob a forma de blends com o querosene mineral. As análises do óleo vegetal evidenciaram que ele é um bom candidato ao processo de transesterificação, segundo os limites estabelecidos na literatura.

Os resultados demonstrados na análise cromatográfica evidenciaram a viabilidade técnica do processo de destilação atmosférica para concentrar a fase leve do biodiesel. Sendo assim, a partir dos resultados aqui apresentados, têm-se base científica para o uso do processo de destilação atmosférica dentro do aspecto de produção de biocombustíveis.

Para as análises dos parâmetros estabelecidos pela ANP e pela ASTM, que foram densidade, ponto de fulgor, poder calorífico, análise de destilação e ponto de congelamento, ficou evidente que os blends estudados atendem aos parâmetros estabelecidos pelas organizações regulamentadoras até uma faixa de 5% em mistura, e que esta faixa poderia ser maior se ultrapassado o problema do ponto de congelamento, que limitou a mistura nesta faixa.

O biodiesel leve puro, tratado como amostra de 100%, não atendeu a quase nenhuma das especificações, o que já era esperado, visto que por mais que os ácidos graxos sejam semelhantes ao querosene mineral, outras características são bem distintas, uma vez que o biodiesel leve é obtido de um óleo vegetal, que traz consigo diversas características próprias (densidade, conteúdo de água, acidez, índice de peróxido), como foi evidenciado pelas análises do óleo.

Os resultados aqui obtidos mostram que inicialmente o biocombustível produzido tem potencial para uso, mas, é imprescindível uma maior investigação, estendendo a pesquisa para os demais parâmetros estabelecidos pela legislação.

7. ANEXOS

7.1 Anexo I – Especificações do QAV-1 e QAV-C pela ANP 778/2019.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODOS		
			ABNT NBR	EI	ASTM
APARÊNCIA					
Aspecto	-	claro, límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temperatura ambiente	14954 (2)		D4176 (2)
Cor (3)	-	Anotar	14921	-	D156 D6045
Partículas contaminantes, máx. (4)	mg/l	1,0	-	IP 423 IP 216	D5452 D2276
COMPOSIÇÃO					
Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
Aromáticos, máx. (5)	% volume	25,0	14932	IP 156	D1319
	% volume	26,5	-	IP 436	D6379
Enxofre total, máx.					D1266
					D2622
					D4294
Enxofre mercaptídico, máx. ou Ensaio Doctor (6)	% massa	0,30	14533	IP 336	D5453
Fração hidroprocessada	% volume	anotar	-	-	-
	% volume	anotar	-	-	-
COMPONENTES NA EXPEDIÇÃO DA REFINARIA PRODUTORA (7)					
Fração hidroprocessada	% volume	anotar	-	-	-
Fração severamente hidroprocessada (8)	% volume	anotar	-	-	-
VOLATILIDADE					

Destilação			9619	IP 123 (9) IP 406 (10)	D86 (9) D2887 (10) D7345 (10) D7344 (10)
P.I.E. (Ponto Inicial de Ebulação)		anotar	-	-	-
10% vol. recuperados, máx.		205,0	-	-	-
50% vol. recuperados		anotar	-	-	-
90% vol. recuperados		anotar	-	-	-
P.F.E. (Ponto Final de Ebulação), máx.	°C	300,0	-	-	-
Resíduo, máx.	% volume	1,5	-	-	-
Perda, máx. (11)	% volume	1,5	-	-	-
Ponto de fulgor, mín. (12)	°C	38,0	7974	IP 170 IP 523	D56 D93 D3828
Massa específica a 20°C	kg/m3	771,3 - 836,6	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052
FLUIDEZ					
Ponto de congelamento, máx. (13)	°C	47	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154
Viscosidade a -20°C, máx.	mm ² /s	8,0	10441		D445 (14) D7042 (14) D7945
COMBUSTÃO					
Poder calorífico inferior, mín.	MJ/kg	42,8	-	IP 12	D4529 D3338 D4809
Ponto de fuligem, mín. ou	mm	25,0	11909	IP 598	D1322

Ponto de fuligem, mín. e Naftalenos, máx. (15)					
	mm	18,0			D1322
CORROSÃO					
Corrosividade ao cobre (2h a 100°C), máx.	-	1	11909	IP 598	D1840
ESTABILIDADE					
Estabilidade térmica 2,5h - mín. 260°C					
queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25,0			
depósito no tubo (16) (17)	-	<3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
Depósito no tubo - método instrumental, máx. (16) (18)		85	-	IP 323	D3241
CONTAMINANTES					
Goma atual, máx. (19)	mg/100 mL	7	14525	IP 540	D381
Chumbo, máx. (40)	g/l	0,005	-	-	D3237
Índice de separação de água, MSEP (20)					
com dissipador de cargas estáticas, mín.	-	70	-	-	D3948 D7224 (39)
sem dissipador de cargas estáticas, mín.	-	85	-	-	D3948
CONDUTIVIDADE					
Condutividade elétrica (21)	pS/m	50 - 600	-	IP 274	D2624
LUBRICIDADE					
Lubricidade, BOCLE máx. (22)	mm	0,85	-	-	D5001
ADITIVOS (23)					
Antioxidante, máx. (24)	mg/l	24,0	-	-	-
Desativador de metal (aditivação inicial), máx. (25)	mg/l	2,0	-	-	-
Desativador de metal (aditivação cumulativa), máx. (25)	mg/l	5,7	-	-	-

Dissipador de cargas estáticas, (aditivação inicial) máx. (26)	mg/l	3,0	-	-	-
Dissipador de cargas estáticas, (aditivação cumulativa), máx. (26)	mg/l	5,0	-	-	-
Inibidor de formação de gelo	% volume	0,07- 0,15	-	-	-
Detector de vazamentos, máx. (27)	mg/kg	1,0	-	-	-
Melhorador da lubricidade, máx. (28)	mg/l	23	-	-	-
ENSAIOS COMPLEMENTARES (29)					
Teor de biodiesel, máx. (30)	mg/kg	50	-	IP 583 IP585 IP 590 IP 599	D7797
Aditivo redutor de arrasto em dutos (DRA), máx.	µg/l	72	-	-	D7872

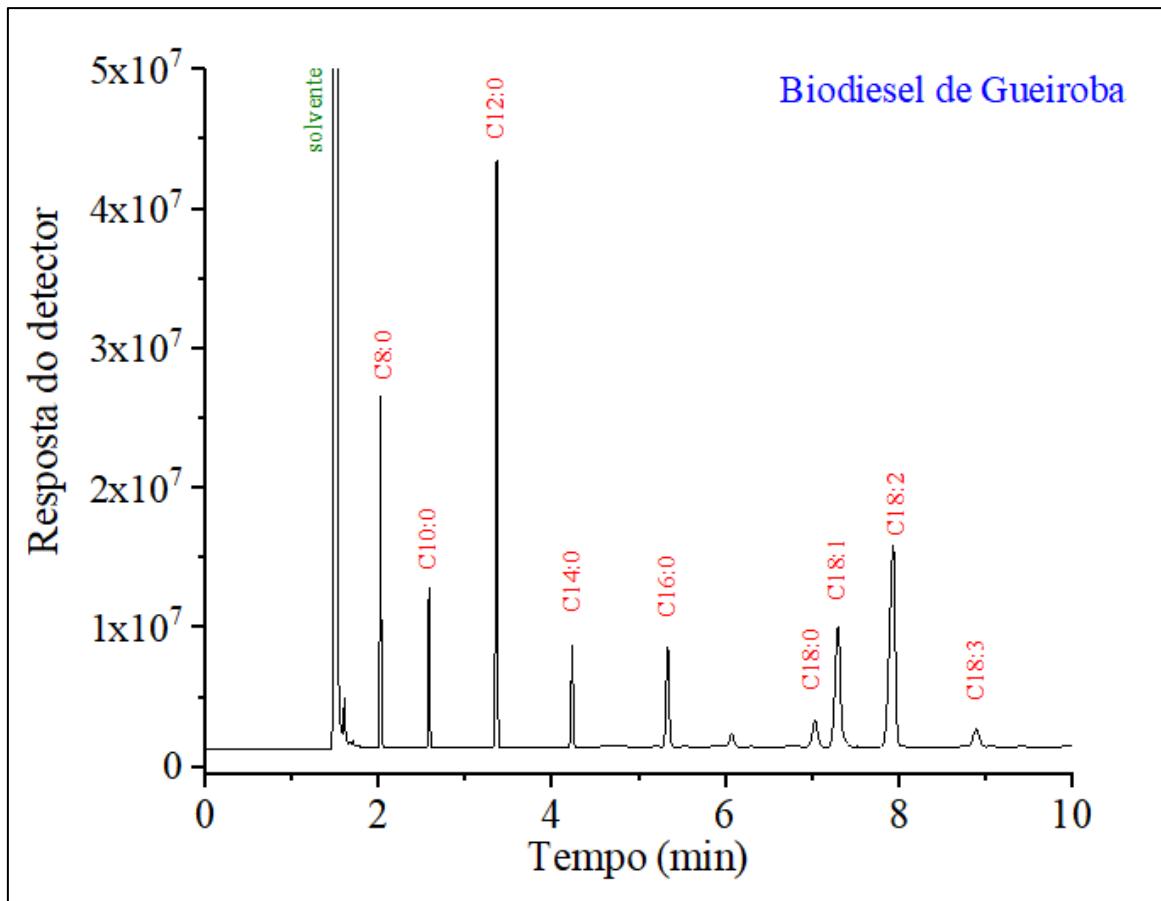
Fonte: (ANP, 2019).

7.2 Anexo II – Especificações do Jet A-1 ou QAV-1 pela ASTM D1655.

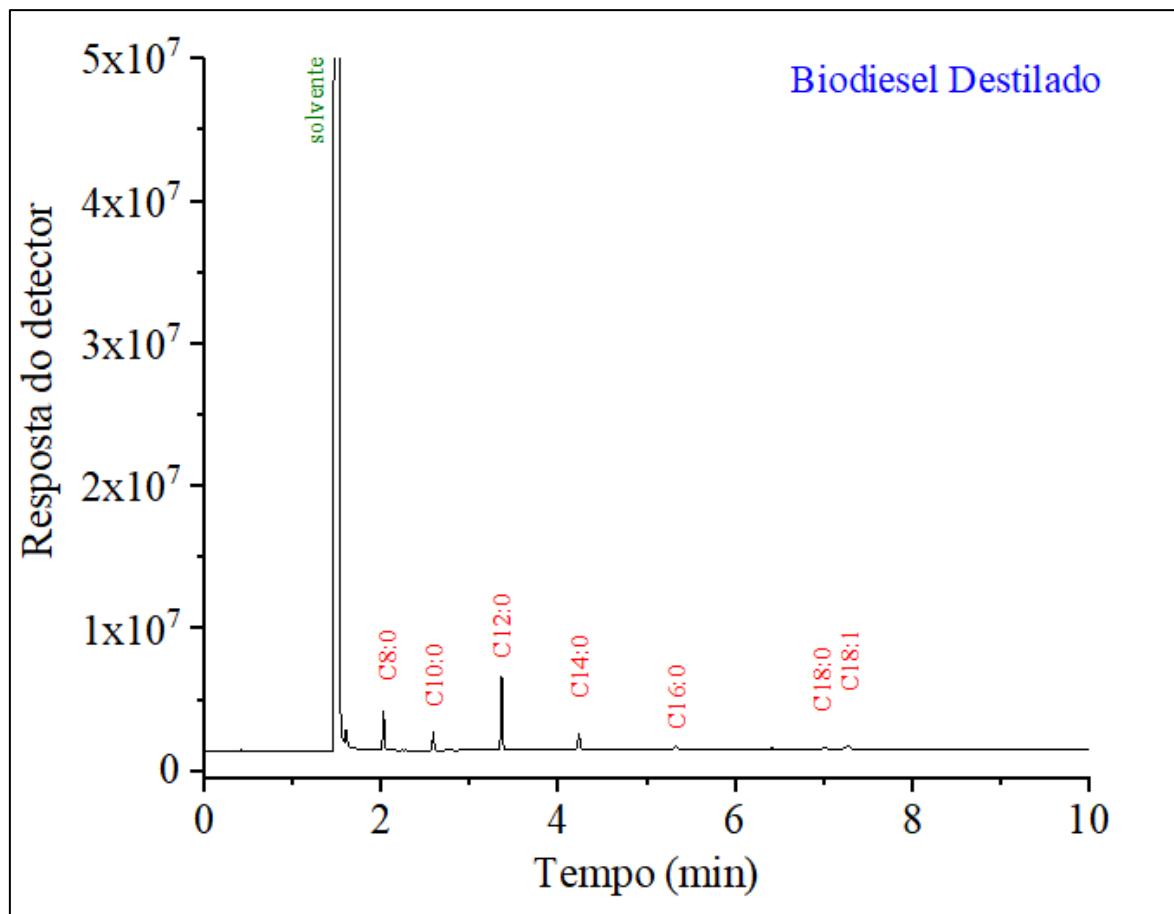
Property		Jet A or Jet A-1	Test Methods
COMPOSITION			
Acidity, total mgKOH/g	max	0.10	D3242/IP 354
1.Aromatics, percent by volume	max	25	D1319 or IP 156
1.Aromatics, percent by volume	max	26.5	D6379/IP 436
Sulfur, mercaptan, percent by mass	max	0.003	D3227/IP 342
Sulfur, total percent by mass	max	0.30	D1266, D2622, D4294, D5453 or IP 336
VOLATILITY			
Distillation temperature, °C			D86, D2887/IP 406, D7344, D7345, IP 123
10 % recovered, temperature	max	205	
50 % recovered, temperature		Report	
90 % recovered, temperature		Report	
Final boiling point, temperature	max	300	
Distillation residue, %	max	1.5	
Distillation loss, %	max	1.5	
Flash point, °C	min	38	D56, D93, D3828, IP 170 or IP 523
Density at 15 °C, kg/m ³		775 to 840	D1298/IP 160 or D4052 or IP 365
FLUIDITY			
Freezing point, °C	max	-40 Jet A -47 Jet A-1	D5972/IP 435, D7153/IP 529, D7154/IP 528 or D2386/IP 16
Viscosity – 20 °C, mm ² /s	max	8	D445/IP 71, Section 1, D7042 or D7945
COMBUSTION			
Net heat of combustion, MJ/kg	min	42.8	D4529, D3338, D4809 or IP 12

One of the following requirements shall be met:			
(1) Smoke point, mm, or	min	25	D1322/IP 598
(1) Smoke point, mm, (2) and Naphthalenes, vol, %	min max	18 3	D1322/IP 598 D1840
CORROSION Copper strip, 2h at 100 °C	max	No 1	D130/IP 134
THERMAL STABILITY 2.5 h at control temperature of 260 °C min) Filter pressure drop, mm Hg	max	25	D3241/IP 323
Tube rating: One of the following requirements shall be met (1) Annex A1 VTR, VTR Color Code (2) Annex A2 ITR or Annex A3 ETR, mm average over area of 2.5 mm ²	less than max	3 (no peacock or abnormal color deposits) 85	
CONTAMINANTS			
Existent gum, mg/100 mL	max	7	D381, IP 540
Microseparometer, Rating			D3948
Without electrical conductivity additive	min	85	
With electrical conductivity additive	min	70	
ADDITIVES			
Electrical conductivity, pS/m			D2624/IP 274

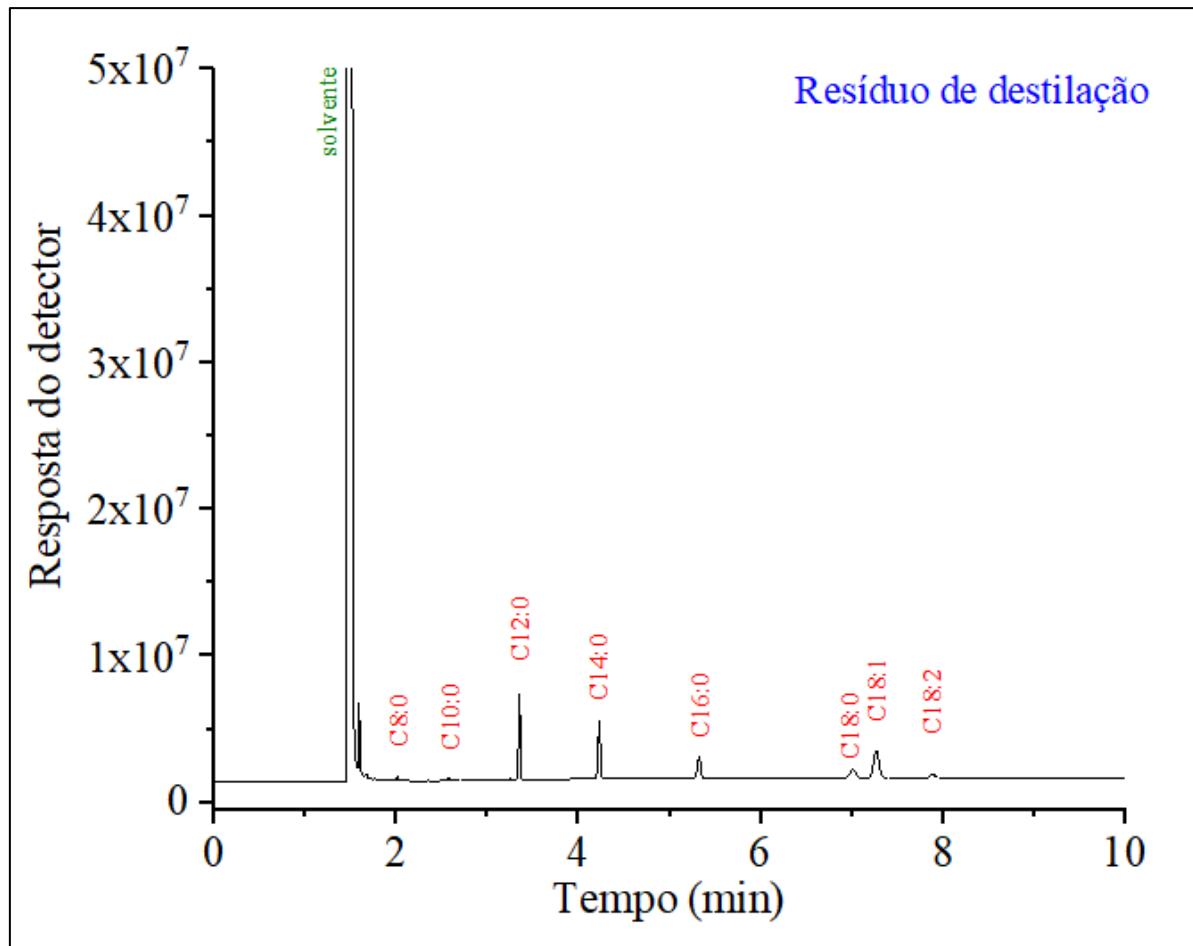
Fonte: Adaptado de ASTM (2010).

7.3 Anexo III - Cromatograma da amostra de biodiesel.

Fonte: Do Autor (2019).

7.4 Anexo IV - Cromatograma da amostra de biodiesel leve (destilado).

Fonte: Do Autor (2019).

7.5 Anexo V - Cromatograma da amostra de resíduo da destilação.

Fonte: Do Autor (2019).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITANI, A. M. Oil Refining and Products. In: **Encyclopedia of Energy**. 4. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2004. p. 715–729. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00259-X>>.
- ALMEIDA, F. et al. **Extração do óleo de moringa por diferentes métodos, visando a produção de biodiesel**. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anais**. Campina Grande, PB: CONEPETRO, 2015.
- ALMEIDA, S. et al. **A Gueroba (Syagrus oleracea Becc.) nas Comunidades Rurais -I: aproveitamento agroindustrial**. 1. ed. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2000.
- ALVES, J. M. A. et al. Pinhão-Manso: Uma Alternativa para Produção de Biodiesel na Agricultura Familiar da Amazônia Brasileira. **Agro@ambiente Online**, v. 2, n. 1, p. 12, 2008.
- ANAC. **Plano de ação para redução das emissões de gases de efeito estufa da aviação civil brasileira**. 2. ed. Brasilia, DF: ANAC, 2015.
- ANP. **Combustíveis de Aviação**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1856-combustiveis-de-aviacao>>. Acesso em: 11 set. 2018.
- ANP. **Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 11 out. 2018a.
- ANP. **Consumo de combustíveis no Brasil subiu 0,4% na comparação entre 2017 e 2016**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/noticias/4334-consumo-de-combustiveis-no-brasil-subiu-0-4-na-comparacao-entre-2017-e-2016>>. Acesso em: 6 nov. 2018b.
- ANP. **Resolução nº 778, de 5 de abril de 2019** Brasil, 2019. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2019/abril&item=ranp>>.

778-2019>. Acesso em: 20 mai. 2019.

ANTONIASSI, R.; CHAVES, J. B. P.; MACHADO, G. C. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco Babaçu. **Revista CERES**, p. 463–470, 2006.

ASTM. ASTM D1655 -5, Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. **Annual Book of ASTM Standards**, p. 1–16, 2010.

BAENA-ZAMBRANA, S. et al. Behaviour of water in jet fuel - A literature review. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 60, p. 35–44, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2012.12.001>>.

BOCKISH, M. **Fats and Oils Handbook, English Edition**. 1. ed. Hambug, Germany: AOCS Press, 1998.

BONASSA, G. et al. Bioquerosene: Panorama da produção e utilização no brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 97–106, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/rber.v3i2.37711>>.

BRASIL. **Lei Nº 12.490, de 16 de Setembro de 2011**. Brasil, 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm>

BUZIN, E. J. W. K. DE et al. Perfil de ácidos graxos de folhas e amêndoas orgânicas de Guariroba. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 941–950, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18677/Encyclopedia_Biosfera_2016_081>.

BYERS, E.; GIDDEN, M.; LECL, D. Global exposure and vulnerability to multi-sector development and climate change hotspots. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 15, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf45>>.

CAN ŞENER, Ş. E.; SHARP, J. L.; ANCTIL, A. Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. March, p. 2335–2342, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.042>>.

CHEMSPIDER. **Tetradecanoic Acid Methyl Ester.** Disponível em: <<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.29024.html?rid=eca5bd5f-4e4a-4146-af3e-e3445ed4b2cf>>. Acesso em: 11 jun. 2019a.

CHEMSPIDER. **Decanoic Acid Methyl Ester.** Disponível em: <<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7759.html?rid=bc8bb933-44ec-4dcc-a7f2-aa56708e4c1a>>. Acesso em: 11 jun. 2015b.

CHEMSPIDER. **Octanoic Acid Methyl Ester.** Disponível em: <<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7800.html?rid=c373e7c0-36c9-4079-aea5-15a92f742cc4>>. Acesso em: 11 jun. 2019c.

CHEMSPIDER. **Dodecanoic Acid Methyl Ester.** Disponível em: <<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7847.html?rid=64506578-e57f-41d1-a601-8ed246630560>>. Acesso em: 11 jun. 2019d.

CHOUNG, M. et al. Liquid biofuels production and emissions performance in gas turbines : A review. **Energy Conversion and Management**, v. 173, n. April, p. 640–658, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.082>>.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul.** [s.l.] Universidade Católica Dom Bosco, 2012.

CLOY, J. M.; SMITH, K. A. Greenhouse Gas Sources and Sinks. In: **Encyclopedia of the Anthropocene.** [s.l.] Elsevier Inc., 2018. p. 391–400. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09961-4>>.

COIMBRA, M. C. **Caracterização dos frutos e dos óleos extraídos da polpa e amêndoas de Guariroba (*Syagrus oleracea*), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) E Macaúba (*Acrocomia aculeata*).** [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.032>>.

CONAB. **Cana-de-açúcar tem queda de 3,6% e fecha safra 2017/18 em 633,26 milhões** de t. Disponível em:

<<https://www.conab.gov.br/index.php/component/content/article?id=2327>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

DA ROCHA, G. O. et al. Química sem fronteiras: O desafio da energia. **Quimica Nova**, v. 36, n. 10, p. 1540–1551, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000010>>.

DE ALMEIDA, J. K. P. et al. Caracterizações físico-químicas de óleos vegetais utilizados para produção de biodiesel com metodologias alternativas simples. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 14, 2011.

DIAS, J. E. **Cadeia produtiva do óleo de amêndoas de gueroba (Syagrus oleracea): geração de renda para agricultores familiares e promoção da agrobiodiversidade, Buriti de Goiás (GO)**. [s.l.] UNESP - Campus Botucatu, 2012.

DIAS, J. E.; LAUREANO, L. C.; MING, L. C. Cadeia produtiva do óleo de amêndoas de gueroba (*Syagrus oleracea*): geração de renda para agricultores familiares e promoção da agrobiodiversidade. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 122–133, 2014.

EL-MASHAD, H. M.; ZHANG, R.; AVENA-BUSTILLOS, R. J. A two-step process for biodiesel production from salmon oil. **Biosystems Engineering**, v. 99, n. 2, p. 220–227, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.029>>.

EMBRAPA. **Uso obrigatório do Sistema Internacional de Unidades em resultados de análises químicas de fertilidade de solos e nutrição vegetal**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/770030/1/usoobrigatorio.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

EMBRAPA. **BRJATROPHA - Pesquisa, desenvolvimento e inovação em Pinhão Manso para produção de Biodiesel**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51057/1/BR-Jatropha-2011.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2018: Relatório Síntese: ano base 2017**. p. 62,

2018.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FAUSTINO, C. V. **Caracterização físico-química do óleo residual de fritura tratado com terra clarificante para utilização na produção de Biodiesel**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

FORTES, I. C. P.; BAUGH, P. J. Pyrolysis-GC/MS studies of vegetable oils from Macauba fruit. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 72, n. 1, p. 103–111, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.03.005>>.

FRANCESQUETT, J. Z. et al. Determinação do Poder Calorífico de Amostras de Gasolina Utilizando Espectroscopia no Infravermelho Próximo e Regressão Multivariada. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 5, n. 2, p. 88–95, 2013.

FREIRE, A. P. **Blendas de bioquerosene e querosene de aviação: caracterização térmica e espectrométrica**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2014.

GABRIEL, K. C. P. **Produção de biodiesel a partir de óleo de palma**. [s.l.] Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2015.

GARCIA, A. H.; VIEIRA, J. R.; COSTA, M. G. G. **Contribuição ao conhecimento da biologia do Pachymerus nucleorum Fabr., 1972 (Bruchidae-Coleoptera) em Syagrus oleracea Mart. (Palmae)**. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2357/2321>>. Acesso em: 9 nov. 2018.

GIAKOUMIS, E. G.; SARAKATSANIS, C. K. Estimation of biodiesel cetane number, density, kinematic viscosity and heating values from its fatty acid weight composition. **Fuel**, v. 222, n. January, p. 574–585, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.187>>.

GIRARD, E. A.; KOEHLER, H. S.; NETTO, S. P. Volume, biomassa e rendimento de

óleos essenciais do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum). **Rev. Acad.**, v. 5, n. 2, p. 147–165, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v5i2.9744>>.

GONÇALVES, A. et al. **Determinação do índice de acidez de óleos e gorduras residuais para produção de Biodiesel**. III Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. **Anais**. Brasilia, DF: 2009.

GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G.; ANDO, M. Y. Optimization of chemical interesterification of palm oil. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 633–636, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000400015>>.

GUTIÉRREZ-ANTONIO, C. et al. A review on the production processes of renewable jet fuel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, n. May, p. 709–729, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.108>>.

HARTER, L. V. L.; SANTOS, D. Q.; FABRIS, J. D. Destilação atmosférica do biodiesel derivado do óleo de Macaúba ou do Palmiste para obtenção da fração de ésteres leves para uso como combustível de aviação. **Química Nova**, v. X, n. 00, p. 1–6, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170320>>.

ICAO. **Resolutions adopted at the 37th session of the assembly**: provisional edition. n. November, p. 106, 2010.

IEA. Energy and Climate change. **Nature**, v. 479, n. 7373, p. 267–268, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/479267b>>.

IEMA. Documento de Análise 2017 - **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**. p. 95, 2017.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 2–26, 2015.

IPCC. Summary for policy makers: **Global Warming of 1.5 °C**. p. 1–21, 2018.

ISPN. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável Gueroba**. Brasilia, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2013.

KANDARAMATH HARI, T.; YAAKOB, Z.; BINITHA, N. N. Aviation biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1234–1244, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.095>>.

KHAN, S. et al. A review on deoxygenation of triglycerides for jet fuel range hydrocarbons. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 140, p. 1–24, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaat.2019.03.005>>.

KINNEY, A. J. Oils. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, v. 2, p. 87–92, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00224-0>>.

KIRK-DAVIDOFF, D. **The Greenhouse Effect, Aerosols, and Climate Change**. [s.l.] Elsevier Inc., 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00009-1>>.

KLASS, D. L. Biomass for renewable energy and fuels. In: **Encyclopedia of Energy**. vol. 1 ed. [s.l.] Elsevier, 2004. p. 193–212. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00353-3>>.

KOÇAR, G. Oil Crops for Energy. **Encyclopedia of Sustainable Technologies**, v. 3, p. 121–130, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10127-7>>.

LAPUERTA, M.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J.; ARMAS, O. Correlation for the estimation of the density of fatty acid esters fuels and its implications. A proposed Biodiesel Cetane Index. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 163, n. 7, p. 720–727, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2010.06.004>>.

LIDE, D. R. ET AL. **CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2005**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.

LIMA, J. R. D. O. et al. Biodiesel from babassu (*Orbignya* sp.) synthesized via ethanolic

route. **Quimica Nova**, v. 30, n. 3, p. 600–603, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300019>>.

LLAMAS, A. et al. Biokerosene from coconut and palm kernel oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene. **Fuel**, v. 102, n. 8, p. 483–490, 2012a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.06.108>>.

LLAMAS, A. et al. Biokerosene from babassu and camelina oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene. **Energy and Fuels**, v. 26, n. 9, p. 5968–5976, 2012b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ef300927q>>.

LOHA, C. et al. Renewable Biomass: A Candidate for Mitigating Global Warming. In: **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**. [s.l.] Elsevier Ltd., 2019. p. 1–15. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11020-3>>.

LUTZ, A. **Óleos E Gorduras**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MATIAS, J. C. de O. **As Fontes de Energia Primária**Universidade da Beira Interior, 2006.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Determinação do Índice de Acidez em Óleos Vegetais**, 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/legislacoes-e-metodos/arquivos-metodos-da-area-pov-iqa/it-pov-314-determinacao-de-umidade-em-oleos-vegetais.pdf/view>>

MMA; ANP. **Resolução nº 778 de 5 de abril de 2019**BrasilDiário Oficial da União, , 2019a. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70491356/do1-2019-04-08-resolucao-n-778-de-5-de-abril-de-2019-70491250>

MMA; ANP. **Resolução nº 779 de 5 de abril de 2019**BrasilDiário Oficial da União, , 2019b. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70491356/do1-2019-04-08-resolucao-n-779-de-5-de-abril-de-2019-70491251>

/asset_publisher/Kujrw0TzC2Mb/content/id/70491353/do1-2019-04-08-resolucao-n-779-de-5-de-abril-de-2019-70491258>.

MOYNIHAN, C. T.; SHAHRIARI, M. R.; BARDAKCI, T. Thermal analysis of melting and freezing of jet and diesel fuels. **Thermochimica Acta**, v. 52, n. 1–3, p. 131–141, 1982. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0040-6031\(82\)85191-5](https://doi.org/10.1016/0040-6031(82)85191-5)>.

NOZAKI, V. T. **Potencial Nutricional da amêndoа e da polpa da Guarirova, Syagrus oleracea (Mart.)**. [s.l.] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2012.

OILTANKING. **Aviation Fuels: Jet Fuel, Aviation Gasoline (Avgas), Jet B, Biokerosene**. Disponível em: <<https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/details/term/aviation-fuels.html>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

OLIVEIRA, A. P. M. et al. Análise técnica e econômica de fontes de energia renováveis. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 04, n. 1, p. 163–169, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss1pp0163-0169>>.

OLIVEIRA, M. P. et al. **Influência Do Teor De Acidez Na Produção De Biodiesel**. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anais**. 2015.

OLIVIER, J. G. J. et al. **Trends in Global CO₂ emissions: 2016 report**. The Hague; PBL Netherlands Environmental Assessment Agency; Ispra: European Commission, Joint Research Centre, 2016.

ONU. **Adoção Do Acordo ParisConvenção Quadro sobre Mudança do Clima**, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/ParisAgreementUNFCCC>>.

PRATAS, M. J. et al. Densities and Viscosities of Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 55, n. 9, p. 3983–3990, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/je100042c>>.

QUADROS, T. **O histórico dos principais encontros e acordos climáticos**. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/grafico/2017/11/17/O-histórico-dos-principais-encontros-e-acordos-climáticos-mundiais>>. Acesso em: 16 out. 2018.

RANUCCI, C. R. et al. Obtaining Biokerosene of Jatropha (*Jatrophacurcas L.*) and their mixtures to fossil kerosene. **Revista Tecnológica - Edição Especial 2014**, p. 43–52, 2015.

RENZAHO, A. M. N.; KAMARA, J. K.; TOOLE, M. Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, n. May 2016, p. 503–516, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.072>>.

ROBERTO, C.; PRUDÊNCIO, J. **Biocombustíveis como forma alternativa de energia**. p. 221–225, 2012.

RODRIGUES, E. N. B. et al. **Estudo da produção e qualidade do Bioquerosene proveniente do craqueamento térmico catalítico do óleo de palma e do resíduo de neutralização**. n. October, 2010.

SC GAD; T PHAM. Kerosene. In: **Encyclopedia of Toxicology**. 3. ed. [s.l.] Academic Press, 2014. p. 5218. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00866-6>>.

SHIMAMOTO, G. G.; SALOMÃO, A. A.; TUBINO, M. Determinação do teor de água em óleos vegetais a partir de espectros na região do infravermelho médio. **Sociedade Brasileira de Química**, p. 1, 2010.

SILVA, J. Q. da. **Biodiesel leves derivados dos óleos de macaúba e do palmiste: propriedades de misturas com o querosene na perspectiva de um combustível alternativo de aviação**. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

SILVA, P. C.; PROTESTATO, V.; BUENO, J. Superação de dormência de sementes de gueroba (*Syagrus Oleracea Becc.*). **IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG**, v. 1, [s.d.].

SOUZA, D. **Caracterização de matérias primas para produção de biodiesel**. V SEMANA DE ENGENHARIA QUÍMICA UFES. **Anais**. Alegre, ES: 2016.

SPEIGHT, J. G.; EL-GENDY, N. S. Refinery Products and By-Products. **Introduction to Petroleum Biotechnology**, p. 41–68, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805151-1.00002-3>>.

STAPLES, M. D. et al. Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels. **Energy Policy**, v. 114, n. July 2017, p. 342–354, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.007>>.

TAMALAMPUDI, S.; FUKUDA, H. Biodiesel. In: **Comprehensive Biotechnology**. Second Edi ed. [s.l.] Academic Press, 2011. p. 63–70. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00163-X>>.

TEBRAS. **Preparo e Padronização da solução de Hidróxido de Sódio 0,1 mol L⁻¹** Salto, SP, 2012.

TUCKETT, R. Greenhouse Gases. In: **Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering**. 3. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2018. p. 1–11. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14031-4>>.

UFPA. **Preparação da solução de tiossulfato de sódio 0,1 N**. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/quimicanalitica/preparatiossulfato.htm>>. Acesso em: 17 out. 2018a.

UFPA. **Padronização de soluções de tiossulfato de sódio com iodato de potássio**. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/quimicanalitica/padronizatiossulfato.htm>>. Acesso em: 17 set. 2018b.

UNESP. **Conversões**, 2012. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/GRCONV.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2019.

VIEIRA, J. A. V. et al. **Processo de produção de bioquerosene de aviação e composição de querosene de aviação**. Brasil. WO2011143728 A1, 2011.

VIEIRA, J. S. C. et al. Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais

contendo alto teor de ácidos graxos livres. **Quimica Nova**, v. 41, n. 1, p. 10–16, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170148>>.

YANG, J. et al. An overview on performance characteristics of bio-jet fuels. **Fuel**, v. 237, n. August 2018, p. 916–936, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.079>>.

ZHANG, C. et al. Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 120–138, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.056>>.

ZHENG, X. et al. A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 1113–1133, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.140>>.