

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MATHEUS LUCAS PINHEIRO

**PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO:**  
Uma análise comparativa de diferentes processos tecnológicos

SÃO CARLOS – SP

2023

MATHEUS LUCAS PINHEIRO

**PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO:**

Uma análise comparativa de diferentes processos tecnológicos

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Dr<sup>a</sup>. Vádila Giovana Guerra Bettega

SÃO CARLOS – SP

2023

## BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 28 de agosto de 2023 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador(a): Dr<sup>a</sup>. Vádila Giovana Guerra Bettega, DEQ/UFSCar

Convidado(a): Dr<sup>a</sup>. Rosineide Gomes da Silva Cruz, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Dr. Ernesto Antonio Urquieta-Gonzalez, DEQ/UFSCar

Dedico esse trabalho aos meus pais, Cleuzeni e Joaquim, meus queridos irmãos, meus avós e a todos os docentes que fizeram parte da minha trajetória acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Cleuzeni e Joaquim, por todo o apoio incansável, me permitindo mergulhar nos estudos e me encorajando a manter foco e determinação na busca dos meus objetivos. Quero ressaltar minha mãe, cuja força e determinação são uma constante inspiração, e que esteve sempre ao meu lado nos momentos mais desafiadores.

À minha irmã Tayane e ao meu irmão Otávio, desejo expressar meu agradecimento por acreditarem sempre no meu potencial e por torcerem pelo meu sucesso. Saber que conto com o apoio de vocês me impulsiona a buscar voos ainda mais altos.

Meu companheiro Gabriel merece um agradecimento especial, pois tem sido meu apoio constante nos dias mais difíceis. Sua presença tem sido fundamental para tornar minha jornada mais significativa e gratificante.

Aos colegas da faculdade, quero estender meu reconhecimento por proporcionarem uma experiência enriquecedora em um ambiente completamente novo. As longas noites de estudo foram mais leves e produtivas graças à companhia e colaboração de todos vocês.

Minha orientadora, Vádila, merece meu agradecimento sincero pelo suporte e orientação valiosos durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, desejo expressar minha gratidão à UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, por abrir portas em minha jornada acadêmica. Aos professores, devo um imenso reconhecimento por tudo que me ensinaram, contribuindo significativamente para o meu crescimento profissional e pessoal.

Meu sincero agradecimento a todos que fizeram parte da minha trajetória.

## RESUMO

Diante da crescente preocupação global com as mudanças climáticas e os eventos ambientais observados nas últimas décadas, surge a necessidade premente de buscar alternativas que minimizem os impactos das atividades humanas, principalmente no que tange ao uso contínuo de combustíveis fósseis. O setor de aviação é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa do mundo e, portanto, tem sido alvo de esforços para reduzir sua pegada ambiental. Uma das alternativas para reduzir as emissões é a produção de bioquerosene de aviação, um combustível renovável e sustentável que pode substituir parcial ou totalmente o querosene de aviação convencional. O trabalho tem como propósito analisar os processos tecnológicos disponíveis na literatura e certificados por órgãos competentes, conferindo especial ênfase as disponibilidades regionais de matérias-primas, a fim de identificar as possibilidades de implementação de matrizes produtoras no país. No cenário atual, a Rota HEFA, que utiliza a soja como matéria-prima, emerge como a alternativa mais promissora e viável em curto prazo para a produção de bioquerosene de aviação, embora outras oleaginosas também demonstrem potencial a ser explorado em um horizonte de médio a longo prazo. Desse modo, com o apoio governamental por meio de promulgação de resoluções que incentivem a produção e substituição de combustíveis não-renováveis, o Brasil poderá concretizar sua posição como um dos maiores produtores de bioquerosene, reduzindo assim, os impactos causados pelo crescente mercado da aviação.

**Palavras-chaves:** Bioquerosene. Biocombustíveis. Aviação. Rota HEFA. Matérias-primas.

## ABSTRACT

In the face of growing global concern about climate change and environmental events witnessed over the past decades, there arises an urgent need to seek alternatives that minimize the impacts of human activities, particularly concerning the ongoing use of fossil fuels. The aviation sector stands as one of the largest greenhouse gas emitters worldwide, prompting efforts to mitigate its environmental footprint. One of the alternatives to reduce emissions is the production of aviation biofuel, a renewable and sustainable fuel that can partially or completely replace conventional aviation kerosene. This work aims to analyze the technological processes available in literature and certified by competent bodies, with special emphasis on regional availability of raw materials, in order to identify the potential for implementing production frameworks within the country. In the current scenario, the HEFA pathway, utilizing soybeans as a feedstock, emerges as the most promising and viable short-term alternative for aviation biofuel production, while other oilseeds also exhibit potential for exploration in the medium to long term. Consequently, with governmental support through the enactment of resolutions incentivizing the production and replacement of non-renewable fuels, Brazil could solidify its position as a major biofuel producer, thus mitigating the impacts of the burgeoning aviation market.

**Keywords:** Biokerosene. Biofuel. Aviation. HEFA Pathway. Raw Materials.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Exemplos moléculas de alcanos (heptano e isopentano).</b> .....	<b>16</b>
<b>Figura 2: Exemplo de molécula de cicloalcano (ciclohexano).</b> .....	<b>17</b>
<b>Figura 3: Esquema de produção de querosene de aviação de origem fóssil.</b> .....	<b>18</b>
<b>Figura 4: Esquema geral do motor aeronáutico.</b> .....	<b>21</b>
<b>Figura 5: Câmara de combustão.</b> .....	<b>22</b>
<b>Figura 6: Produção anual de biocombustível no Brasil.</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 7: Consumo anual de biocombustível no Brasil.</b> .....	<b>25</b>
<b>Figura 8: Demanda anual por querosene de aviação no Brasil.</b> .....	<b>26</b>
<b>Figura 9: Fluxograma simplificado do processo HEFA.</b> .....	<b>28</b>
<b>Figura 10: Fluxograma simplificado do processo SIP.</b> .....	<b>31</b>
<b>Figura 11: Molécula de farneseno.</b> .....	<b>31</b>
<b>Figura 12: Molécula de farnesano.</b> .....	<b>32</b>
<b>Figura 13: Fluxograma simplificado do processo FT via gaseificação da biomassa. ..</b>	<b>33</b>
<b>Figura 14: Principais álcoois utilizados no processo ATJ.</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 15: Fluxograma das principais vias de obtenção de álcool para ATJ.</b> .....	<b>36</b>
<b>Figura 16: Fluxograma simplificado dos processos da rota ATJ.</b> .....	<b>36</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1: Limite máximo permitido do JET alternativo a ser adicionado ao JET A ou JET A-1 para formular o JET C. ....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 2: Composição de custos e despesas do setor de aviação no Brasil (2019). ....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 3: Matérias-primas conforme rotas tecnológicas aprovadas pela ASTM. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 4: Ranqueamento de oleaginosas destinadas ao processo HEFA por região. ..</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 5: Principais leis, atos normativos e regulatórios relacionados ao mercado brasileiro de bioquerosene de aviação. ....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM - *American Society for Testing and Material* (Sociedade Americana para Testes e Materiais)

AVGAS – Gasolina de Aviação

BioQAV – Bioquerosene de Aviação

CASK – Custos e Despesas por Assento-quilômetro Ofertado

CHJ – *Catalytic Hydrothermolysis Synthesized Kerosene* (Hidrotermólise Catalítica para Querosene Sintético)

DCO – Descarboxilação

DSHC – Açúcares Diretos para Hidrocarboneto

FFA – Ácidos Graxos Livres

FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico GEE – Gases de Efeito Estufa

FT – Fischer-Tropsch

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

HDO – Hidrodesoxigenação

IATA – Associação Internacional de Transporte Aéreo

ICAO – Organização Internacional de Aviação Civil

JET – Querosene de Aviação

MOGD – Olefina-para-gasolina/destilado

MTO – Metanol-para-olefinas

PBB – Plataforma Brasileira do Bioquerosene

PBioZM – Plataforma Mineira de Bioquerosene e Renováveis da Zona da Mata

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

QAV – Querosene de Aviação

RASK – Receita por Assento-quilômetro Ofertado

RPK – Passageiro por Quilômetro Transportado

SAF – Combustível Sustentável de Aviação

SIP – *Synthetic Iso-Paraffins* (Isoparafinas Sintetizadas)

SPK-ATJ – *Synthesized Paraffinic Kerosene – Alcohol to Jet* (Querosene Parafínico Sintetizado por Álcool)

SPK-HC-HEFA – *Synthesized Paraffinic Kerosene - Hydroprocessed Hydrocarbons - Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* (Querosene Parafínico Sintetizado por Hidrocarbonetos Bioderivados, Ácidos Graxos e Ésteres Hidroprocessados)

SPK-FT – *Synthesized Paraffinic Kerosene - Fischer Tropsch* (Querosene Parafínico Hidroprocessado e Sintetizado por Fischer-Tropsch)

SPK-FT-A – *Synthesized Paraffinic Kerosene - Fischer Tropsch – Aromatic* (Querosene Parafínico Hidroprocessado e Sintetizado por Fischer-Tropsch com Aromáticos)

SPK-HEFA – *Synthesized Paraffinic Kerosene - Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* (Querosene Parafínico Sintetizado por Ácidos Graxos e Ésteres Hidroprocessados)

UBRABIO – União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>14</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Definição e composição do combustível de aviação .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Tipos de combustíveis de aviação .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Propriedades do combustível de aviação .....</b>	<b>19</b>
<b>4.4 Funcionamento do motor aeronáutico.....</b>	<b>21</b>
<b>4.5 Mercado de biocombustíveis no Brasil .....</b>	<b>22</b>
<b>4.6 Mercado de aviação no Brasil.....</b>	<b>25</b>
<b>4.7 Combustível sustentável de aviação (SAF).....</b>	<b>27</b>
4.7.1 Rotas de produção tecnológicas .....	28
4.7.1.1 Rota HEFA e HC-HEFA.....	28
4.7.1.2 Rota HFS-SIP .....	30
4.7.1.3 Rota Fischer-Tropsch (SKP-FT e SPK/A) .....	32
4.7.1.4 Rota Alcohol to Jet (ATJ).....	35
4.7.1.5 Rota CHJ .....	38
4.7.2 Matérias-primas .....	38
4.7.3 Panorama político e econômico.....	41
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO A - FISPQ QAV .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO B: TABELAS RESOLUÇÃO ANP N° 856/2021.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas, juntamente com as catástrofes ambientais que vêm sendo observadas no decorrer das últimas décadas, fez com que a necessidade de buscar alternativas que reduzam os impactos das atividades humanas esteja em pauta atualmente. Essa preocupação mundial está associada ao permanente uso de combustíveis fósseis, principalmente oriundos do petróleo, como fonte de energia.

De acordo com Mantovani *et al.* (2017), é possível identificar duas categorias principais de fontes de energia: renováveis e não renováveis. As fontes não renováveis, que incluem combustíveis fósseis (como petróleo, carvão e gás natural) e energia proveniente da fissão nuclear, são consideradas limitadas e esgotáveis, já que sua regeneração na natureza é um processo demorado. Por outro lado, as fontes renováveis de energia são inesgotáveis e permanecem disponíveis na natureza por um longo período. Essas fontes incluem energia solar, energia eólica, energia hídrica, biomassa, entre outras.

A energia desempenha um papel fundamental no bem-estar e na qualidade de vida da população. O uso e o fornecimento de energia são indicadores essenciais para medir o desenvolvimento e o crescimento econômico de um país, sendo amplamente utilizada em diversos setores, como indústria, comércio, residências e outros, para atender a uma variedade de finalidades (PAIXÃO & MIRANDA, 2018).

Apesar disso, a maior parte do consumo global ainda se baseia em fontes não renováveis. Em 2018, aproximadamente 86,1% das necessidades energéticas globais foram supridas por fontes como petróleo, gás natural, carvão e energia nuclear (IEA, 2021). Segundo Axon e Darton (2021), o uso de combustíveis fósseis, devido aos seus preços acessíveis, impulsionou o significativo crescimento da sociedade e melhorou os padrões de vida ao longo do último século, o que dificulta sua substituição. No entanto, a dependência global desses combustíveis como fonte de energia tem levantado preocupações em relação à poluição ambiental e à sua natureza não renovável (EPE, 2017).

No Brasil, quando olhamos para a indústria de transporte aéreo, temos um crescimento notável, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento econômico do país. Ao longo dos anos, esse setor tem registrado um crescimento constante, com uma taxa superior a 3,0%. Em 2019, o número de passageiros pagantes totais ultrapassou a marca de 100.000.000, destacando a importância e o impacto significativo da aviação na economia (ANAC, 2019).

Segundo a Conexão Internacional (2018), o aumento da demanda por transporte aéreo está diretamente relacionado à necessidade de aumentar o suprimento de combustíveis fósseis, que atualmente são os mais utilizados, como a gasolina de aviação (AVGAS) e o querosene de aviação (QAV), ambos derivados do petróleo. No entanto, esse aumento no consumo desses combustíveis tem como consequência um aumento nas emissões de gases poluentes. Estimativas indicam uma previsão de demanda de 14,4 milhões de toneladas de QAV até 2050.

Além do aumento no consumo de QAV e AVGAS, a instabilidade nos preços desses derivados de petróleo gera incertezas, agravando as preocupações em relação à alta demanda por combustíveis. Essas preocupações são acentuadas pela necessidade de abordar questões ambientais, especialmente a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Diante desses desafios, a indústria da aviação está buscando o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, sendo que os biocombustíveis atualmente surgem como uma alternativa emergente para esse problema (CGEE, 2010).

Desse modo, a realização de estudos relacionados ao desenvolvimento de tecnologias de produção de biocombustíveis de aviação são fundamentais para ampliar o conhecimento sobre o tema e explorar as possibilidades de processos e matérias-primas disponíveis. Neste sentido, este trabalho buscará trazer uma análise do contexto brasileiro para implementação de matrizes produtoras em diferentes regiões do país, visando a viabilidade econômica e ambiental.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi realizar uma análise dos principais processos tecnológicos de produção de biocombustível de aviação, levando em consideração os problemas associados ao uso de combustíveis não renováveis, bem como a relevância econômica e a crescente demanda no setor de transporte aéreo. A pesquisa se concentrou na avaliação da maturidade das rotas certificadas, com especial atenção para a disponibilidade de matérias-primas nas diferentes regiões do país. Além disso, também foram levados em consideração aspectos políticos e econômicos relevantes.

Ao final do estudo, identificou-se e concluiu qual processo tecnológico tem maior viabilidade de aplicação no contexto brasileiro, ao mesmo tempo em que foram determinadas quais tecnologias requerem maiores esforços para alcançar um desenvolvimento sustentável efetivo. O trabalho visa contribuir para o avanço das alternativas de biocombustíveis, alinhando-se com a preocupação global com as mudanças climáticas e buscando soluções ambientalmente favoráveis para a indústria.

### 3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2009), embora a revisão bibliográfica seja considerada como a primeira etapa de toda a pesquisa científica, “há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas”.

Para o mesmo autor:

[...] a principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço (Gil, 2009, p. 45).

Gil (2009) aponta que o caminho para se chegar a um fim se dá por meio um conjunto de procedimentos para chegar a algum conhecimento. Nesse entendimento, o presente trabalho ocorreu através de pesquisa bibliográfica a partir de livros, publicações e impressos diversos, ou seja, será de forma descritiva à qual se observou, registrou e analisou os fatos.

A metodologia de pesquisa utilizada foi uma pesquisa exploratória, em que se buscou revisar a literatura disponível, inicialmente, nos seguintes tópicos: biocombustíveis, bioquerosene de aviação, processos de produção de bioquerosene e matérias-primas para bioquerosene. Buscou-se entender os impactos do atual consumo dos combustíveis não renováveis na aviação, assim como sua importância nesse mercado e para o desenvolvimento econômico, afim de justificar a necessidade de estudos sobre possibilidades de um produto sustentável que atenda as especificações indicadas pelos órgãos governamentais responsáveis.

Em seguida, uma pesquisa mais ampla sobre os processos e matérias-primas disponíveis foi realizada, com o intuito de analisar e descrever pontos relevantes e detalhar as rotas tecnológicas estudadas. Com isso, discutiu-se as informações obtidas com a intenção de encontrar o processo tecnológico que possui maior viabilidade de aplicação no contexto brasileiro, assim como aqueles que necessitam de maiores esforços para atingir tal patamar.

Para levantamento dos artigos de pesquisa foram utilizadas as bases de dados de Universidades públicas e privadas, do Periódico CAPES, Google Acadêmico e sites governamentais. As principais contribuições de cada estudo foram abordadas neste trabalho, a fim de apresentar e discutir as informações mais importantes para chegar às conclusões finais.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

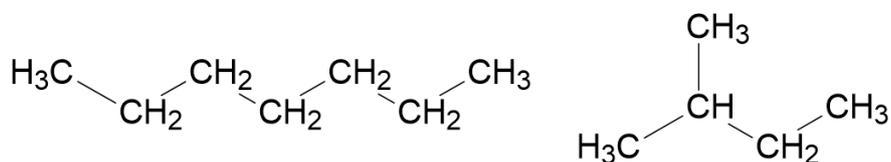
Nesse item serão abordados os principais termos e conceitos base para análise dos processos tecnológicos disponíveis.

### 4.1 Definição e composição do combustível de aviação

O querosene de aviação (QAV) é um combustível utilizado em motores à turbina de aviões e helicópteros, podendo ser obtido tanto de fontes renováveis quanto não renováveis. Possui uma aparência líquida clara e um odor característico (Anexo A). Sua composição é predominantemente composta por alcanos e cicloalcanos, representando cerca de 72% do total. Os aromáticos correspondem a 20%, os alcenos a aproximadamente 5%, e outras moléculas, como enxofre, nitrogênio e oxigenados, compõem cerca de 3% do QAV (RAHMES *et al.*, 2009).

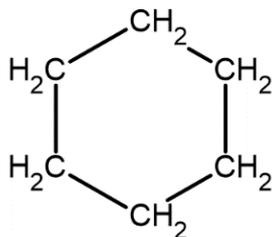
Os alcanos e cicloalcanos, também conhecidos como parafinas e naftenos, são hidrocarbonetos alifáticos saturados. Os Alcanos possuem cadeias abertas, enquanto os cicloalcanos apresentam cadeias fechadas, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2. Esses compostos possuem estrutura estável, o que significa que não reagem imediatamente ao entrar em contato com outros materiais. (CRC, 1983).

**Figura 1: Exemplos moléculas de alcanos (heptano e isopentano).**



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

**Figura 2: Exemplo de molécula de cicloalcano (ciclohexano).**



**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2023.

Segundo Blakey et al., devido à razão hidrogênio-carbono, o querosene de aviação queima de maneira estável e limpa por unidade de massa. No entanto, os alcanos liberam mais calor do que os cicloalcanos, por ter maior número de átomos de carbono em relação aos átomos de hidrogênio. Além disso, os naftenos reduzem o ponto de congelamento do QAV, o que é um aspecto importante a ser mencionado, tendo em vista as altas altitudes que o composto será exposto.

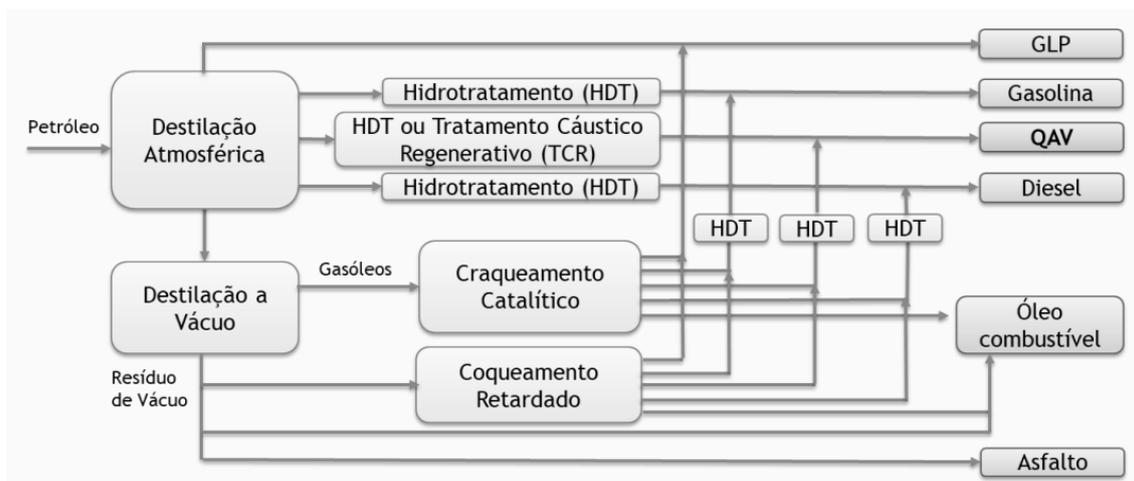
#### 4.2 Tipos de combustíveis de aviação

A identificação do tipo de combustível de aviação dependerá de propriedades como seu modo de produção, origem da matéria-prima utilizada, ponto de congelamento do produto final, dentre outros fatores que são especificados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O querosene de aviação a partir do petróleo é denominado JET A ou JET A-1 (também pode ser chamado de QAV A ou QAV A-1), dependendo do seu ponto de congelamento máximo. Desse modo, os dois são definidos como querosene de aviação de origem fóssil e de uso exclusivo para consumo em turbinas de aeronaves, entretanto o JET A apresenta o ponto de congelamento de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto o JET A-1 é de  $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ANP, 2021).

Esse tipo de combustível pode ser obtido por quatro processos de produção distintos, conforme ilustra a Figura 3, a partir da destilação atmosférica seguido por:

- Tratamento cáustico regenerativo;
- Hidrotratamento;
- Destilação a vácuo, craqueamento catalítico e hidrotratamento;
- Destilação a vácuo, coqueamento retardado e hidrotratamento.

**Figura 3: Esquema de produção de querosene de aviação de origem fóssil.**



**Fonte:** Adaptado de Petrobras, 2021.

Além dos tipos descritos acima, temos o querosene de aviação alternativo, também conhecido como JET alternativo ou QAV alternativo. Conforme definição adotada pela ANP, de acordo com a Resolução nº 856/2021, trata-se de um “combustível derivado de fontes alternativas, como biomassa, óleos vegetais, gordura animal, gases residuais, resíduos sólidos, carvão e gás natural, produzido pelos processos que atendam ao estabelecido nesta Resolução”. O bioquerosene de aviação é um termo que está dentro da qualidade de querosene de aviação alternativo.

No entanto, a Resolução nº 856/2021 apresenta algumas restrições para a utilização desse combustível em turbinas de aeronaves, sendo uma delas a mistura do JET alternativo com JET A ou JET A-1, denominada JET C ou QAV C. A mistura deve ocorrer com apenas um tipo de JET alternativo com os demais combustíveis de origem fóssil, respeitando os limites máximos conforme Tabela 1.

**Tabela 1: Limite máximo permitido do JET alternativo a ser adicionado ao JET A ou JET A-1 para formular o JET C.**

JET alternativo	Limite máximo (% volume)
SPK-FT SPK-HEFA SPK-FT-A SPK-ATJ CHJ	50
SIP SPK-HC-HEFA	10

Fonte: ANP, 2021.

### 4.3 Propriedades do combustível de aviação

O querosene de aviação possui diversas propriedades que desempenham um papel crucial em sua aplicação e desempenho. Uma dessas propriedades é a sua capacidade de combustão, afetada diretamente pela presença de compostos aromáticos, de modo a diminuir o desempenho da turbina. Altos níveis dessas moléculas podem levar à formação de fuligem e depósitos nas superfícies internas do motor quando a temperatura se eleva. Isso pode resultar em corrosão e obstrução do fluxo de ar dentro do equipamento. Além disso, a massa específica e o poder calorífico são fatores importantes para a combustão eficiente do combustível. A massa específica determina a densidade do combustível, enquanto o poder calorífico representa a quantidade de energia liberada pela sua queima (PETROBRAS, 2021).

A compatibilidade de materiais é outra propriedade relevante. A presença de compostos ácidos, sulfurados e solúveis em água no combustível pode levar à corrosão de materiais, como metais, presentes no sistema de abastecimento. Além disso, altos teores de compostos aromáticos podem causar desgaste e inchaço de elastômeros, como borrachas e vedações, resultando em possíveis vazamentos (BAUEN *et al.*, 2009).

Quando exposto a altas temperaturas, o combustível pode passar por reações químicas podendo ocorrer a formação de goma e/ou coque. Esses subprodutos ao se depositarem em bicos injetores, filtros e outros componentes do sistema, obstruem parcialmente a passagem do líquido. Por isso, é importante realizar ensaios de estabilidade térmica para identificar potenciais riscos nesse aspecto. Essa condição térmica extrema é resultado das trocas de

calor que ocorrem devido ao QAV desempenhar simultaneamente as funções de combustível e lubrificante ao circular pelo equipamento (PETROBRAS, 2021).

Outra propriedade a se destacar seria o ponto de congelamento, pela localização dos tanques de combustível nas asas das aeronaves. Para operar em altitudes elevadas, é essencial que o líquido permaneça bombeável mesmo em temperaturas extremamente baixas. O ponto de congelamento é a temperatura na qual a cristalização do combustível, quando resfriado, deixa de existir ao ser aquecido novamente sob agitação constante. A presença de água também pode ter impactos negativos, reduzindo o ponto de congelamento e favorecendo o crescimento de microrganismos (BAUEN *et al.*, 2009).

A viscosidade refere-se ao tamanho das gotas e no padrão de pulverização do combustível. Gotas muito grandes ou um padrão de pulverização inadequado podem resultar em combustão incompleta e dificuldade na reignição do motor em altitudes elevadas (BAUEN *et al.*, 2009).

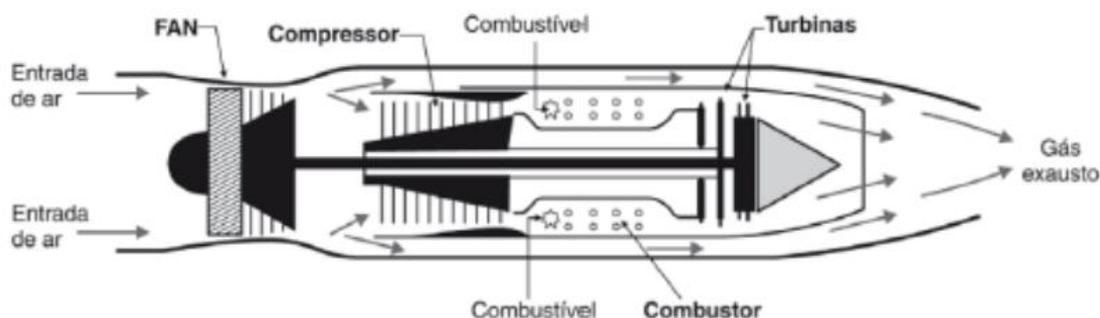
Além disso, pensando em segurança, devido à sua inflamabilidade, é necessário adotar medidas adequadas durante o manuseio, seguindo as diretrizes da Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ (Anexo A) do produto. O combustível também pode causar irritação na pele, nos olhos e nas vias respiratórias, além de apresentar riscos mais graves, como efeitos narcóticos e potencial cancerígeno. Assim, o uso e o descarte adequados são essenciais para evitar danos ao meio ambiente e à saúde humana (PETROBRAS, 2021).

De modo geral, o Querosene de Aviação possui várias propriedades que devem ser consideradas para garantir sua qualidade, desempenho e segurança. Desde a sua capacidade de combustão e compatibilidade com materiais, até a estabilidade térmica, lubrificação, ponto de congelamento, teor de água e viscosidade, todos esses aspectos são de extrema importância na operação e no uso adequado, e podem ser observados com maiores detalhes no Anexo B. É fundamental realizar um controle rigoroso, levando em consideração os pontos citados acima, de modo a garantir a eficiência e a sustentabilidade nas operações aéreas.

#### 4.4 Funcionamento do motor aeronáutico

Segundo o manual de informações técnicas disponibilizado pela Petrobras 2021, o motor aeronáutico é composto basicamente por quatro componentes: o *fan*, o compressor, o combustor e as turbinas de alta e baixa pressão, conforme mostrado na Figura 4.

**Figura 4: Esquema geral do motor aeronáutico.**

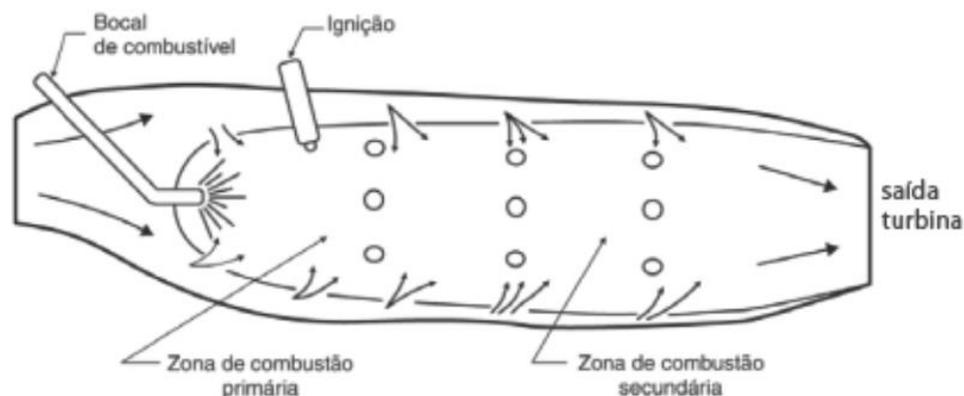


Fonte: Adaptado de Venson, 2012.

O funcionamento do motor aeronáutico ocorre da seguinte forma:

1. Inicia-se com uma unidade auxiliar pneumática para gerar pressão e acionar o *fan*. Quando a rotação do *fan* atinge cerca de 60% de sua capacidade de compressão, a unidade auxiliar é desligada. O ar é sugado da atmosfera pelo *fan* e comprimido em uma proporção de 80%, passando externamente pelo compressor, enquanto 20% do ar induzido é comprimido e direcionado para a câmara de combustão;
2. Os gases produzidos na câmara de combustão expandem, girando as turbinas de alta e baixa pressão;
3. O ar aquecido pelos gases da combustão e a energia mecânica resultante são transmitidos ao eixo da turbina, que está acoplado ao compressor;
4. A mistura de gases resultante da combustão é descarregada para a atmosfera, impulsionando a aeronave, como ilustrado na Figura 5.

**Figura 5: Câmara de combustão.**



**Fonte:** Adaptado de Farah, 2012.

O motor conta com um sistema eletrônico de gerenciamento da turbina, responsável por controlar todo o conjunto, incluindo o fluxo de combustível e ar no compressor. O combustível também passa por um trocador de calor, que tem como função resfriar o óleo lubrificante. O consumo de combustível é maior durante a decolagem da aeronave, reduzindo para cerca de dois terços durante o regime de cruzeiro. Nas fases de descida e pouso da aeronave, o consumo é menor em comparação ao regime de cruzeiro (FARAH, 2012).

#### **4.5 Mercado de biocombustíveis no Brasil**

De acordo com o *Statistical Review of World Energy 2020* (BP, 2020), a produção global de biocombustíveis atingiu 1,8 milhão de barris equivalente por dia em 2019. Os dois principais produtores mundiais representam 62% da produção global: os Estados Unidos, com 38%, e o Brasil, com 24%, lideram de forma significativa o ranking. Em seguida, encontram-se a Indonésia (7%), Alemanha, França e China, cada um com 3% de participação na produção.

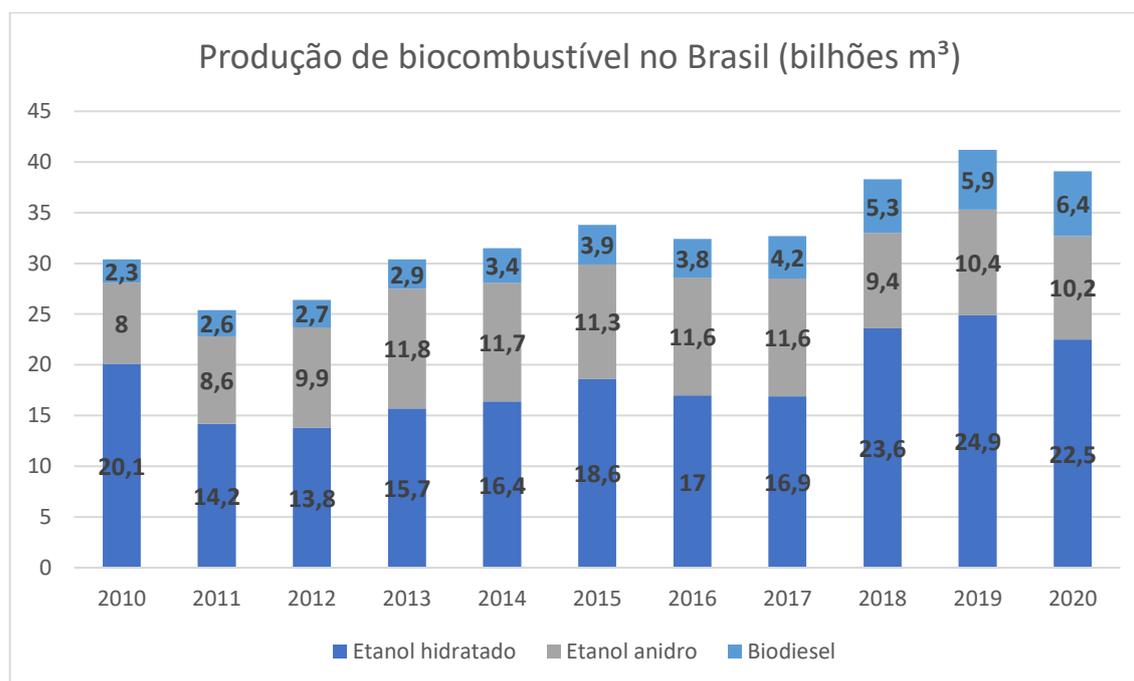
O Brasil se destaca como um importante produtor de biocombustíveis e possui um potencial significativo para a produção de biomassa, agregando valor a essa matéria-prima. No entanto, em termos de competitividade, é crucial entender que vários fatores afetam o custo, o preço e a lucratividade dos biocombustíveis, sendo os principais relacionados à matéria-prima utilizada, à área cultivada e à produtividade da colheita. Por exemplo, estima-

se que o custo de produção de etanol no Brasil seja ligeiramente mais alto do que nos Estados Unidos, com uma diferença em torno de 6% a 7%. Por outro lado, os custos médios de produção de biodiesel são comparáveis nos dois países, principalmente porque ambos produzem a partir da soja. Esses fatores são influenciados por políticas de estímulo à produção, estrutura tributária e estabelecimento de percentuais obrigatórios de biocombustíveis (CANA, 2019).

Com a combinação de recursos naturais abundantes, políticas públicas e investimentos privados, o Brasil estabeleceu um mercado consolidado na produção e consumo de biocombustíveis, com ênfase no etanol e no biodiesel. Esse sucesso pode ser observado até mesmo na indústria automotiva, em que cerca de 80% dos veículos leves são classificados como *flex*, podendo utilizar tanto gasolina quanto etanol como combustível (MILANEZ *et al.*, 2021).

A progressão notável na produção dos principais biocombustíveis pode ser visualizada no Figura 6, mostrando o crescimento constante ao longo do tempo. Essa trajetória bem-sucedida colocou o país em uma posição de destaque mundial na produção e adoção de biocombustíveis. O setor de biocombustíveis no Brasil tem se beneficiado de várias políticas públicas, cujo marco inicial foi o Proálcool na década de 1970. Em 2005, com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o país consolidou sua estratégia de promover o uso de biocombustíveis, oferecendo segurança aos investimentos e permitindo gradualmente a expansão da produção e do consumo de biodiesel. No final de 2017, o Brasil estabeleceu a Política Nacional de Biocombustíveis - Renovabio, reconhecendo a importância estratégica de todos os biocombustíveis em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável. Essas iniciativas refletem o compromisso do país em promover uma matriz energética mais limpa e sustentável, impulsionando a produção e o uso de biocombustíveis como alternativa aos combustíveis fósseis (MILANEZ *et al.*, 2021).

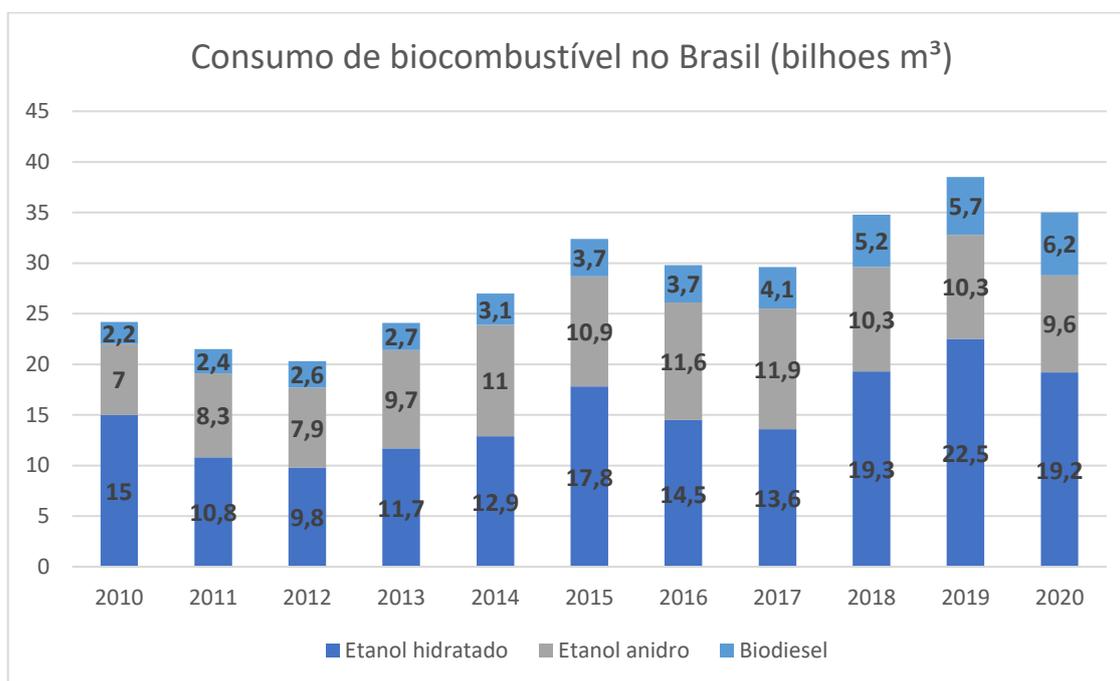
**Figura 6: Produção anual de biocombustível no Brasil.**



**Fonte:** Adaptado de ANP, 2020.

Em 2020, a produção de etanol no Brasil foi de 32,7 bilhões de litros, menor do que no ano anterior devido à valorização do açúcar no mercado internacional. A produção de biodiesel alcançou um novo recorde, totalizando 6,4 bilhões de litros. Esses números mostram a dinâmica do mercado de biocombustíveis, com diferentes fontes de matérias-primas e potencial para crescimento e inovação.

Em relação à demanda por biocombustíveis, é possível observar, na Figura 7, um crescimento ao longo do tempo, com algumas oscilações que provavelmente estão associadas à flutuação dos preços dos derivados de petróleo e ao ciclo econômico. Em 2020, os efeitos da pandemia foram claramente percebidos, impactando na demanda.

**Figura 7: Consumo anual de biocombustível no Brasil.**

**Fonte:** Adaptado de ANP (2020) e EPE (2021).

#### 4.6 Mercado de aviação no Brasil

De acordo com o Anuário do Transporte Aéreo divulgado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em 2019, o Brasil registrou o transporte de 95,3 milhões de passageiros em 804,9 mil voos domésticos. A demanda, medida em RPKs (passageiros por quilômetro transportado), apresentou um aumento de 0,8% no mesmo ano. Considerando também os voos internacionais, o total de passageiros transportados aumenta para 119,4 milhões. Além disso, as receitas por assento-quilômetro ofertado (RASK) e os custos e despesas por assento-quilômetro ofertado (CASK) apresentaram um aumento de 8,2% e 9,3%, respectivamente. Esses indicadores mostram o panorama do setor de aviação antes da crise desencadeada pela pandemia (ANAC, 2020).

As tarifas representaram 84% do total das receitas das companhias aéreas nacionais, sendo o restante proveniente de despacho de bagagem e outras receitas auxiliares. Ao analisar os custos e despesas, destaca-se que o combustível é o componente de maior peso individual 29,5% (Tabela 2), o que explica a sensibilidade das empresas aéreas às variações de preço desse insumo (ANAC, 2020).

**Tabela 2: Composição de custos e despesas do setor de aviação no Brasil (2019).**

<b>Origem Custo/Despesa</b>	<b>Composição (%)</b>
Pessoal	16,0
Seguros, arrendamento e manutenção	11,0
Despesas operacionais	12,0
Combustíveis	29,5
Depreciação, amortização	13,0
Demais despesas	18,5

Fonte: ANAC, 2020.

Os dados divulgados pela ANAC revelam os primeiros impactos da pandemia no setor aéreo brasileiro. Em 2020, a demanda por voos domésticos apresentou uma queda significativa de 85%, enquanto no mercado internacional essa redução foi ainda mais expressiva, atingindo 95,4% em comparação com o ano anterior. O número de passageiros transportados também sofreu uma queda acentuada de 87,3%, e as cargas transportadas registraram uma redução de 44,7% no mesmo período. A demanda anual por querosene de aviação no Brasil por um período de dez anos (2010 a 2020) é mostrada na Figura 8.

**Figura 8: Demanda anual por querosene de aviação no Brasil.**

Fonte: Adaptado de ANP, 2020.

É importante ressaltar que 60% do consumo total de QAV no país é destinado aos voos internacionais, e que o setor aéreo brasileiro tem sido responsável por aproximadamente 4% das emissões globais. De acordo com a ANAC, o pico de emissões ocorreu em 2015, quando atingiram a marca de 17,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (ANAC, 2019).

O mercado de aviação no Brasil tem um potencial e pode crescer ainda mais. Conforme destacado pela IATA (2019), ao superar desafios como a redução dos custos operacionais, otimização do uso da infraestrutura e harmonização regulatória, o país tem a oportunidade de expandir significativamente a conectividade aérea doméstica e internacional, impulsionando assim o seu crescimento de maneira substancial. A implementação dessas medidas pode abrir caminho para um setor aéreo mais eficiente e competitivo, contribuindo para o desenvolvimento econômico e fortalecimento das relações comerciais.

#### **4.7 Combustível sustentável de aviação (SAF)**

Em linhas gerais, SAF's são combustíveis não fósseis produzidos de forma sustentável – note-se que o termo é mais genérico do que biocombustíveis. Embora o atual desenvolvimento tecnológico permita a produção de SAF's a partir de diversas fontes, como resíduos de materiais plásticos ou pneus, as principais matérias-primas têm origem animal ou vegetal. Por conta disso, é usual que os SAF's sejam frequentemente chamados simplesmente de biocombustíveis de aviação, ou ainda de bioquerosene de aviação (BioQAV).

As características físico-químicas dos SAFs são tais que eles podem ser misturados aos combustíveis tradicionais sem nenhuma alteração na qualidade e sem necessidade de qualquer adaptação nos motores das aeronaves, além de permitirem que a mesma infraestrutura de armazenamento e transporte existente seja utilizada. É possível sumarizar esses atributos ao dizer que os SAF's são *drop-in*, isto é, podem ser adicionados diretamente aos combustíveis convencionais (ICAO, 2017).

A despeito de, em 2020, os SAF's corresponderem a apenas 0,1% do total do consumo de combustíveis de uso aeronáutico, estima-se que com incentivos adequados seja possível chegar em poucos anos a cerca de 2,5% do total. O desenvolvimento da cadeia de produção e comercialização tem ganhado tração, com acordos consolidados de compra de SAFs de cerca de 6 bilhões de litros em 2020. Estima-se que algo em torno de 250 mil voos realizados tenham utilizado combustível com alguma mistura de SAF's no mesmo ano (RSB, 2021).

#### 4.7.1 Rotas de produção tecnológicas

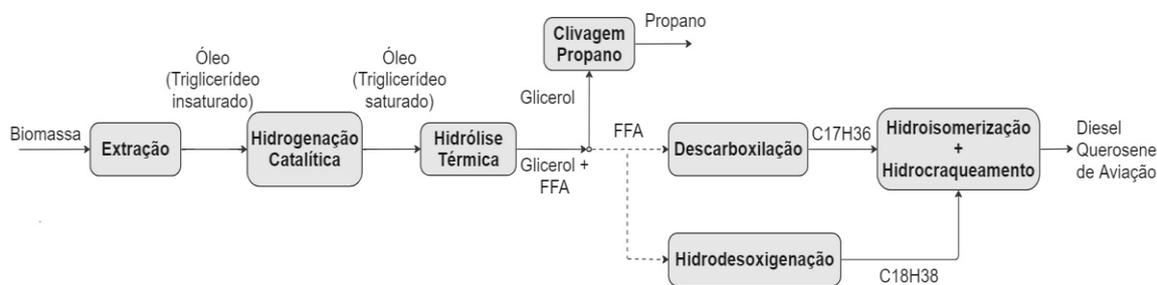
Há várias rotas possíveis para a produção de SAF's, sendo algumas já certificadas pela *American Society for Testing and Material* (ASTM) – órgão dos EUA que estabelece os padrões e normas técnicas dos combustíveis de aviação, garantindo a qualidade antes e depois da mistura ao querosene fóssil. Assim, são assegurados os padrões de segurança no uso pelas aeronaves (ICAO, 2017). As principais rotas certificadas são descritas a seguir:

##### 4.7.1.1 Rota HEFA e HC-HEFA

O processo HEFA utiliza óleos vegetais, gorduras animais, óleo de cozinha e óleo de pirólise em hidroprocessamento para formular QAV. Além disso, segundo ANP (2021), a sua variante HC-HEFA utiliza bio-derivados da microalga *Botryococcus braunii*, que por apresentar um teor relevante de hidrocarbonetos difere-se do processo HEFA.

Normalmente, 1,2 tonelada de óleo vegetal são necessárias para produzir 1 tonelada de combustível HEFA. O processo, mostrado na Figura 9, envolve uma série de reações para extrair ácidos graxos livres (FFA) da biomassa, seguidas por reações de isomerização (rearranjo de moléculas) e hidrocraqueamento (redução do comprimento da cadeia de carbono das moléculas) para obter SAF.

**Figura 9: Fluxograma simplificado do processo HEFA.**



**Fonte:** Adaptado de NG *et al.*, 2021.

O processo tem início com a extração de óleo contido na biomassa, o qual é naturalmente rico em ácidos graxos e glicerídeos insaturados, contendo ligações duplas. No entanto, para que o produto final, o SAF, possua as características desejadas, é essencial eliminar a insaturação. Para atingir esse objetivo, recorre-se à reação de hidrogenação catalítica, que promove a quebra das ligações duplas, convertendo os compostos em triglicerídeos saturados. A hidrogenação é conduzida sob pressão de 0,7 a 4 bar, empregando catalisadores de níquel e operando a temperaturas de 150°C a 220°C. Alternativamente, é possível realizar o processo a temperaturas mais baixas, entre 80°C e 120°C, quando se utilizam catalisadores de paládio e platina. Os triglicerídeos são quebrados por meio de reações de hidrólise térmica, resultando em uma molécula de glicerol e três moléculas de FFA. O glicerol obtido é então convertido em propano pela adição de hidrogênio (KASIKAMPHAIBOON *et al.*, 2018).

O oxigênio presente nos ácidos graxos livres (FFA) é eliminado por meio de duas reações distintas: hidredesoxigenação (HDO) ou descarboxilação (DCO), resultando na produção de octadecano ( $C_{18}H_{38}$ ) e heptadecano ( $C_{17}H_{36}$ ), respectivamente. A principal diferença entre essas duas reações é que a HDO requer 9 mols de hidrogênio e produz água como subproduto, enquanto a DCO gera dióxido de carbono (LIU *et al.*, 2019).

A reação de hidredesoxigenação (HDO) demanda uma significativa quantidade de hidrogênio a alta pressão. Normalmente, esse processo é conduzido em temperaturas entre 300°C e 600°C, utilizando catalisadores heterogêneos como NiMo sulfurado e CoMo suportado em alumina. Porém, além da HDO, há outra opção de processamento dos FFA: a descarboxilação ou decarbonilação (DCO), na qual o  $CO_2$  ou CO é produzido em vez de  $H_2O$ , como ocorre no HDO. A grande vantagem do DCO é que ele ocorre favoravelmente sob pressão mais baixa, resultando em um menor consumo de hidrogênio durante o processo (LIU *et al.*, 2019).

Parafinas de cadeia reta ( $C_{18}H_{38}$  de HDO ou  $C_{17}H_{36}$  de DCO) são produzidas; no entanto, os produtos resultantes não atendem às especificações necessárias para a aplicação como combustível de aviação, devido a fatores como ponto de fulgor, ponto de congelamento e ponto de nuvem. Para superar essas limitações, essas parafinas são submetidas a um processo adicional chamado reação de hidroisomerização, que visa formar parafinas de cadeia ramificada. Essa estratégia é adotada para reduzir o ponto de congelamento das parafinas (MENG *et al.*, 2019).

Além disso, a reação de hidrocraqueamento também é empregada nesse contexto. Essa reação pode ocorrer sequencialmente ou simultaneamente com a hidroisomerização. Seu propósito é quebrar e saturar os hidrocarbonetos presentes, resultando na formação de querosene parafínico sintético (SPK). Esse querosene sintético consiste em cadeias de carbono com comprimento variando entre C<sub>9</sub> a C<sub>15</sub> (MENG *et al.*, 2019).

O principal produto derivado do processo HEFA é o diesel renovável e, em condições normais de processamento, apenas cerca de 15% do rendimento líquido total consiste em combustível de aviação, a menos que o craqueamento ocorra para gerar hidrocarbonetos menores. Existem diversos incentivos políticos significativos para a produção de diesel renovável, fazendo que a maioria dos produtores de HEFA venda todo o seu produto como diesel renovável. A necessidade de infraestrutura e processamento adicionais significa que a produção de SAF acaba se tornando muito mais cara do que a produção de diesel renovável. Como é mais fácil e barato produzir biodiesel, a produção desses dois fluxos baseados no processo HEFA é mais competitiva em termos econômicos (IEA, 2021).

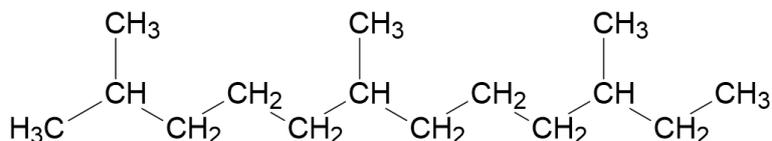
Ainda assim, de acordo com Souza (2019), o processo HEFA é a melhor opção a curto prazo devido ao fato de a tecnologia já estar bem desenvolvida em escala comercial, ser um processo mais simples e apresentar menores custos.

#### 4.7.1.2 Rota HFS-SIP

O processo por meio da rota HFS-SIP ocorre a partir da fermentação de açúcares, podendo ser aplicado em níveis de mistura de até 10% com os combustíveis convencionais. Portanto, trata-se de uma rota bioquímica que faz uso de leveduras modificadas para fermentar açúcares e convertê-los em uma molécula de hidrocarboneto C<sub>15</sub> chamada farneseno, que após passar por um processo de hidrotreatamento resulta no composto com as especificações determinadas pela ANP (ROITMAN, 2019).

Na Figura 10 é apresentada um fluxograma simplificado do processo, por meio da conversão biológica de biomassa em iso-parafina sintéticas (SIP), também conhecido como “açúcares diretos para hidrocarboneto” (DSHC).



**Figura 12: Molécula de farnesano.**

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2023.

Segundo IRENA (2019) e Bauen *et al.* (2020), essa tecnologia é comercializada pela Amyris, e utiliza uma cepa de *S. cerevisiae* (PE-2) no processo de fermentação para produzir farneseno pela via do mevalonato. O rendimento do farneseno pode chegar a 16,8%, com uma produtividade de 16,9 g/L-1d e recuperação de 95% após a separação. Porém, o processo não se destaca como sendo uma opção tão viável, por apresentar uma maturidade intermediária, ou seja, são necessários maiores desenvolvimentos tecnológicos e estudos para uma implementação mais abrangente.

#### 4.7.1.3 Rota Fischer-Tropsch (SKP-FT e SPK/A)

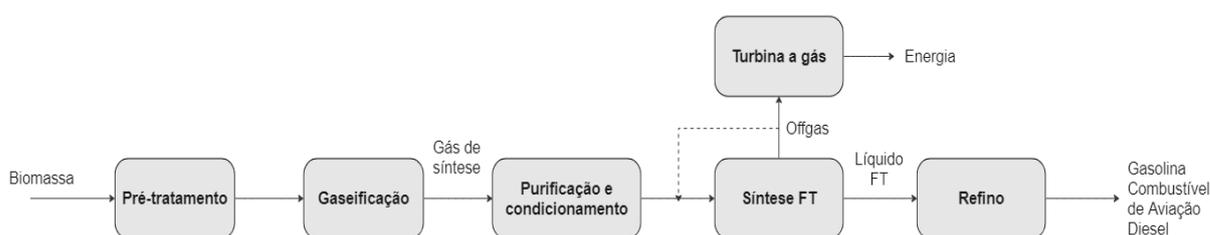
O *Synthesized Paraffinic Kerosene - Fischer Tropsch* (Querosene Parafínico Hidroprocessado e Sintetizado por Fischer-Tropsch) é definido pela Resolução nº 856 da ANP de 2021 como: “querosene parafínico sintetizado obtido de um ou mais precursores produzidos pelo processo Fischer-Tropsch”. Já o *Synthesized Paraffinic Kerosene/Aromatics* (Querosene Parafínico Sintetizado com Aromático) é determinado pela mesma Resolução como: “querosene parafínico sintetizado a partir de variação do processo Fischer-Tropsch com adição de aromáticos”. Os dois são realizados da mesma forma, sendo a única diferença entre eles a presença de aromáticos no SPK/A.

A Síntese de Fischer-Tropsch pode ser acoplada a diversos processos de conversão de biomassa, como gaseificação, pirólise e liquefação, para a produção de combustível sintético. No entanto, esta revisão terá o foco na rota de gaseificação-FT, uma vez que é a rota comercialmente estabelecida e certificada para a produção de combustível de aviação (NG *et al.*, 2021).

A gaseificação é um processo que converte materiais carbonosos, como biomassa, em gás de síntese, ocorrendo em temperaturas elevadas (geralmente acima de 800°C). O gás de

síntese resultante é composto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H<sub>2</sub>), os quais são blocos de construção fundamentais para a síntese do líquido Fischer-Tropsch (FT). A Figura 13 ilustra a integração da gaseificação de biomassa com o processo de síntese e refino FT, possibilitando a produção de um combustível de aviação mais limpo e de alta qualidade. Tipicamente, 5-6 toneladas de biomassa podem ser convertidas em 1 tonelada de combustível líquido por meio do processo FT (MENEZES *et al.*, 2022).

**Figura 13: Fluxograma simplificado do processo FT via gaseificação da biomassa.**



**Fonte:** Adaptado de NG *et al.*, 2021.

A qualidade do gás de síntese é de extrema importância para o processo de síntese Fischer-Tropsch (FT), sendo mais exigente do que para outras aplicações. Por essa razão, a limpeza do gás desempenha um papel fundamental para assegurar uma produção eficiente de combustíveis líquidos. A escolha da tecnologia de gaseificação pode influenciar a extensão da limpeza necessária, mas é essencial encontrar um equilíbrio com relação aos custos envolvidos. A gaseificação à plasma destaca-se ao produzir o gás de síntese de maior pureza, ao mesmo tempo em que oferece maior flexibilidade nas especificações da matéria-prima. No entanto, essa tecnologia também possui o maior custo operacional. Por outro lado, as tecnologias de gaseificação mais simples e econômicas produzem um gás de síntese de qualidade inferior, demandando processos de limpeza mais abrangentes (IEA, 2021).

A produção de gás de síntese (*syngas*) a partir do gás natural, que requer uma limpeza mais limitada, pode representar mais de 50% do custo de investimento, e esse valor tende a aumentar quando são utilizadas matérias-primas como a biomassa. Embora as tecnologias de limpeza do *syngas* não apresentem desafios técnicos significativos, elas podem representar uma parcela importante dos investimentos. Assim, encontrar um equilíbrio

adequado entre a qualidade do gás e os custos envolvidos para cada etapa do processo é essencial para o sucesso da produção a partir de síntese Fischer-Tropsch (IEA, 2021).

A síntese FT produz hidrocarbonetos com diferentes comprimentos de cadeia de carbono, abrangendo hidrocarbonetos leves ( $C_1$ - $C_4$ ) que são gases leves e podem ser diretamente utilizados em turbinas a gás para geração de calor e energia, ou refinados em GLP; nafta ( $C_5$ - $C_{10}$ ) e querosene ( $C_{10}$ - $C_{16}$ ), que podem ser misturados à gasolina e ao combustível de aviação; destilados ( $C_{14}$ - $C_{20}$ ) que podem ser refinados em combustível diesel; e ceras ( $C_{20+}$ ) que podem ser submetidas a hidrocraqueamento para produzir diesel (NG *et al.*, 2021).

De acordo com Menezes *et al.* (2022), uma das vantagens do líquido FT é sua completa isenção de enxofre e a quantidade mínima de compostos aromáticos em comparação com a gasolina e o diesel, o que resulta em uma menor poluição ambiental. Essa característica, aliada à necessidade de evitar o envenenamento do catalisador, implica que a alimentação para a síntese FT precisa ser estritamente controlada. A limpeza do gás de síntese permanece como um aspecto essencial no sistema, exigindo um desenvolvimento adicional para garantir um padrão satisfatório, ao mesmo tempo em que se obtém uma redução significativa nos custos.

O processo por meio da rota FT tem operado comercialmente utilizando gás de síntese à base de gás natural e carvão, com instalações na Malásia, Qatar e África do Sul. Entretanto, a maioria das tecnologias de gaseificação de biomassa-FT ainda estão em fase de demonstração, com os principais projetos sendo desenvolvidos na França, Áustria e EUA, utilizando como matéria-prima resíduos de madeira e resíduos sólidos urbanos (IRENA, 2019).

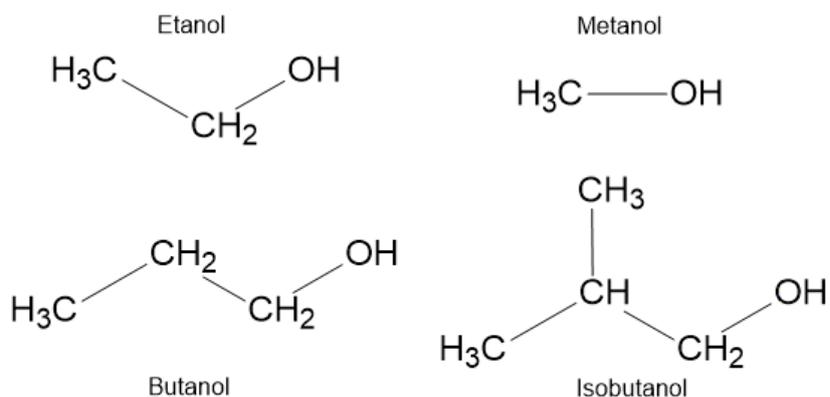
Mesmo sendo uma rota comercialmente madura para carvão e gás natural, o processo de base biológica ainda está em desenvolvimento. Os desafios enfrentados são a viabilidade econômica da redução de escalas adequadas para biomassa e sistemas baseados em resíduos, além da seletividade de catalisadores e adequação de processos (Bauen *et al.*, 2020).

#### 4.7.1.4 Rota Alcohol to Jet (ATJ)

O processo ATJ ocorre a partir da conversão de álcoois de cadeia curta, como metanol, etanol, butanol e isobutanol (Figura 14) em hidrocarbonetos de cadeia mais longa (alcano C<sub>8</sub>-C<sub>16</sub>). Existem duas rotas principais para a obtenção do álcool nesse processo:

1. Metanol-para-olefinas (MTO) seguido por olefina-para-gasolina/destilado (MOGD);
2. Processamento de etanol/isobutanol/butanol/outras álcoois por desidratação, oligomerização e hidrogenação.

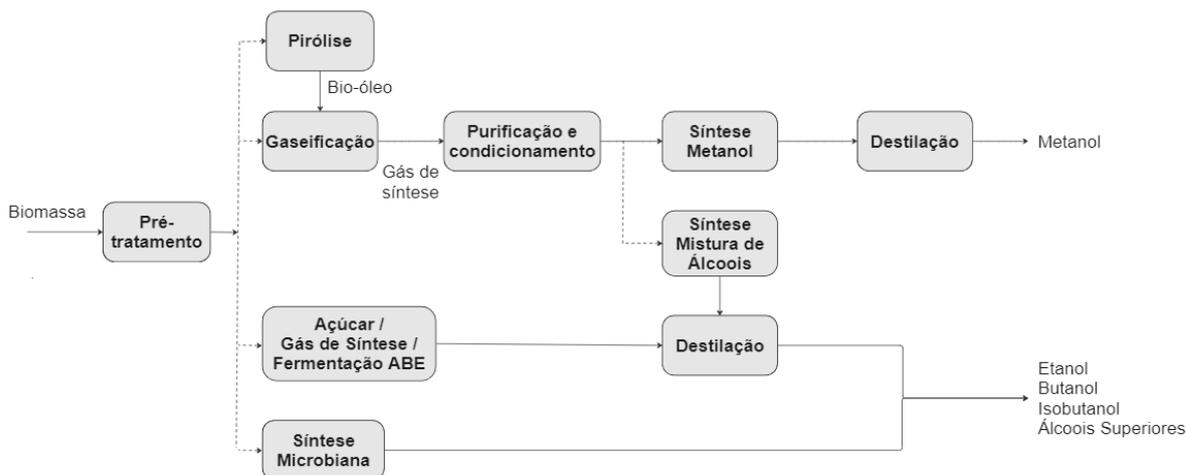
**Figura 14: Principais álcoois utilizados no processo ATJ.**



**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2023.

O álcool pode ser produzido a partir da biomassa por termoquímica, como gaseificação e pirólise, ou rotas bioquímicas, como fermentação. Tecnologia emergente, como síntese microbiana na produção de álcool, também está se tornando atraente. Na Figura 15 é apresentado um diagrama com as principais vias de processamento de biomassa (NG et al, 2021).

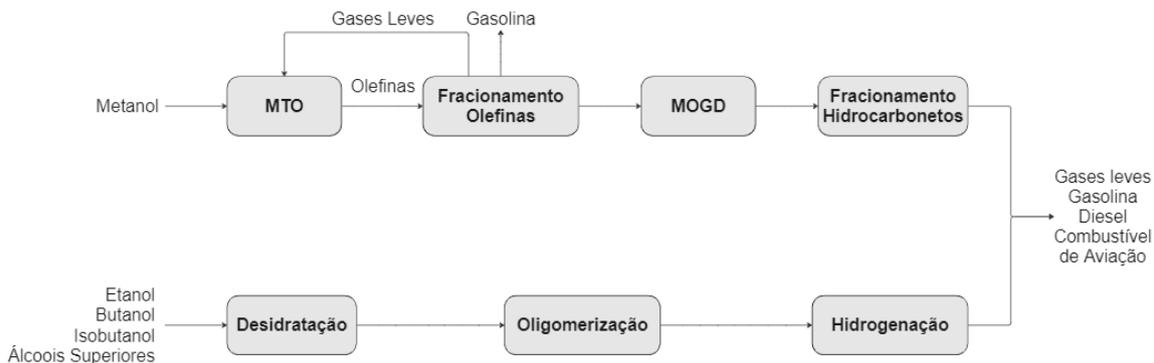
**Figura 15: Fluxograma das principais vias de obtenção de álcool para ATJ.**



Fonte: Adaptado de NG *et al.*, 2021.

O metanol pode ser transformado em combustível de aviação por meio da combinação do processo MTO seguido pelo MOGD, conforme ilustrado na Figura 16. O metanol é introduzido no reator de leito fluidizado MTO, operando a 482°C e 1 bar, com o catalisador ZSM-5. Os produtos resultantes desse processo incluem metano (1,4% em peso), parafinas C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> (6,5% em peso), olefinas C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> (56,4% em peso) e gasolina C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> (35,7% em peso). Essa mistura de produtos é posteriormente encaminhada para uma unidade de fracionamento (MENEZES *et al.*, 2022).

**Figura 16: Fluxograma simplificado dos processos da rota ATJ.**



Fonte: Adaptado de NG *et al.*, 2021.

Os gases leves gerados no processo são reciclados para a unidade MTO, o que contribui para aumentar o rendimento do produto. A gasolina é separada da coluna de fracionamento como um produto único. Em seguida, as olefinas são processadas na unidade MOGD, que é um reator de leito fixo operando a 400°C e 1 bar com a presença do catalisador ZSM-5. Os produtos resultantes da unidade MOGD incluem gases leves (3% em peso), gasolina (15% em peso) e destilado (82% em peso). A unidade de fracionamento MOGD fornece as frações de gases leves (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>), gasolina (C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub>), querosene/querosene (C<sub>11</sub>-C<sub>13</sub>) e diesel (C<sub>14+</sub>) como produtos finais da integração do MTO e MOGD (MENEZES *et al.*, 2022).

Outra abordagem para transformar álcoois em combustível de aviação ocorre por meio da desidratação, oligomerização e hidrogenação, ilustradas na Figura 16. Nesse processo, os álcoois são desidratados primeiro para formar alcenos em condições de pressão entorno de 14 bar e temperatura entre 288°C e 343°C. A reação de desidratação pode utilizar catalisadores ácidos, como catalisador à base de alumina. A etapa seguinte é a oligomerização, em que moléculas de alceno são combinadas para formar hidrocarbonetos de cadeia mais longa. Por fim, a etapa de hidrogenação envolve a saturação das olefinas para produzir querosene parafínico, com fornecimento externo de hidrogênio e a utilização de catalisador PtO<sub>2</sub> (NG *et al.*, 2021).

De acordo com Bauen *et al.* (2020), as rotas ATJ (Álcool-para-Querosene) são atraentes devido à sua capacidade de converter diversos tipos de álcoois provenientes de uma ampla gama de fontes em combustível de aviação, além de outros hidrocarbonetos. Além disso, a rota ATJ oferece flexibilidade logística, pois a planta de catálise de álcool não precisa estar localizada junto à produção de álcool, permitindo que os álcoois sejam convenientemente transportados e armazenados. No entanto, a principal fraqueza dessa via pode estar relacionada à seletividade da produção de combustível de aviação.

Com tudo, já existem projetos pilotos de rota ATJ. No Brasil, a Raízen, utiliza como biomassa a cana-de-açúcar e o processo de Etanol de primeira e segunda geração. Para Irena (2019), a maturidade técnica dessa rota é intermediária, ou seja, são necessárias otimizações e demonstrações em ambiente de produção.

#### 4.7.1.5 Rota CHJ

O *Catalytic Hydrothermolysis Synthesized Kerosene* (Hidrotermólise Catalítica para Querosene Sintético) é definido pela Resolução nº 856 da ANP de 2021: “querosene contendo compostos aromáticos produzido a partir de craqueamento catalítico e hidrogenação de ésteres de ácidos graxos e ácidos graxos livres”.

A tecnologia utiliza a hidrotermólise, ou seja, craqueamento catalítico e hidrogenação para converter ésteres de ácidos graxos e ácidos graxos livres em Querosene Sintético que contém parafinas, iso-parafinas, cicloparafinas e até aromáticos. Em seguida ao CHJ, comumente, utiliza-se de outros processos como Hidrotratamento, Hidrocraqueamento, Hidroisomerização ou outro processo de refino (ASTM, 2021).

#### 4.7.2 Matérias-primas

Conforme mencionado anteriormente, o Brasil possui um grande potencial para a produção de biocombustíveis, impulsionado pela sua vasta extensão de terras agricultáveis, localização tropical privilegiada e regime pluviométrico favorável. Com mais de 90 milhões de hectares disponíveis para agricultura, o país é um dos líderes mundiais em commodities. Além disso, há mais de 200 milhões de hectares de pastagens com baixo grau de degradação, que podem ser revitalizadas por meio da aplicação de tecnologias apropriadas, possibilitando seu uso tanto para o cultivo de alimentos quanto para a produção de bioenergia (EMBRAPA, 2015).

O bioquerosene pode ser produzido a partir de uma variedade de processos e matérias-primas, incluindo biomassas lignocelulósicas, fontes sacarinas, amiláceas e óleos vegetais. A seleção das matérias-primas geralmente é baseada em critérios como o potencial produtivo das espécies, sua adaptação natural ao clima e solo, e sua composição em termos de óleos e ácidos graxos, quando se trata de processos que utilizam óleos vegetais. Essa diversidade de opções permite ao Brasil explorar diferentes fontes de biomassa para a produção de bioquerosene, contribuindo para a diversificação e sustentabilidade da matriz energética do país (CGEE, 2010).

A diversidade de biomassa disponível no país é notável. Essas fontes abundantes podem ser utilizadas para a produção de bioquerosene, contudo, é importante ressaltar que cada matéria-prima requer um processo de transformação específico, podendo ser químico,

bioquímico ou termoquímico. Na Tabela 3, são apresentadas as principais matérias-primas em relação à respectiva rota de produção e seu limite máximo de mistura a JET A e JET A-1.

**Tabela 3: Matérias-primas conforme rotas tecnológicas aprovadas pela ASTM.**

Combustível	Matéria-prima	Nível máximo de mistura
Querosene parafínico sintetizado via ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA)	Óleos vegetais e gorduras animais	50%
Querosene parafínico sintetizado por Fischer-Tropsch (FT)	Biomassas renováveis (material celulósico e resíduos sólidos), carvão ou gás natural.	50%
Querosene parafínico sintetizado de açúcares fermentados e hidroprocessados (SIP)	Fermentação de açúcares, microrganismos geneticamente modificados	10%
Querosene parafínico sintetizado por álcool - <i>alcohol to jet</i> (ATJ)	Biomassas renováveis, material celulósico, amidos, açúcares.	50%
Querosene de hidrotérólise catalítica (CH)	Gorduras renováveis, óleos e ácidos graxos.	50%
Querosene parafínico sintetizado por hidrocarbonetos bioderivados, ácidos graxos e ésteres hidroprocessados (HC-HEFA)	Óleo de algas ricos em hidrocarbonetos	10%

**Fonte:** ASTM (2021); Roitman (2019).

Quando se trata dos processos que utilizam óleo vegetal como matéria-prima para a produção de bioquerosene, é essencial considerar a adequação da cadeia produtiva à disponibilidade regional de matérias-primas. Cada região possui condições específicas para o cultivo de oleaginosas, o que influencia a seleção das matérias-primas a serem utilizadas. Além disso, a logística da cadeia produtiva do bioquerosene é um fator crucial a ser considerado. É recomendado que os arranjos produtivos estejam localizados próximos aos centros consumidores, ou seja, aos aeroportos, para viabilizar os custos de produção e minimizar os impactos ambientais (SOUZA, 2019).

Dentre as diversas oleaginosas cultivadas, a soja tem se destacado como a opção mais promissora de matéria-prima para a produção de bioquerosene, especialmente a curto prazo, devido ao fato de ser a oleaginosa produzida em maior quantidade no país. No entanto, para garantir a sustentabilidade e a expansão contínua da cadeia produtiva, é essencial diversificar as fontes de matéria-prima a médio e longo prazo. Nesse sentido, outras oleaginosas como dendê (palma), algodão, girassol e canola, podem ser consideradas como opções viáveis.

Além disso, para o longo prazo, é importante analisar o potencial de culturas de oleaginosas duradouras e anuais, ainda não domesticadas, como o pinhão-manso, a macaúba, a camelina e outras (CANTARELLA et al., 2015).

No mapeamento multicritério para seleção de oleaginosas destinadas ao processo HEFA, conduzido por Souza (2019), foram identificadas matérias-primas provenientes de diversas regiões do país. Quanto à capacidade potencial dessas matérias-primas para a produção de bioquerosene, o ranking das oleaginosas com maior potencial para a produção do bioquerosene HEFA pode ser visualizado na Tabela 4.

**Tabela 4: Ranqueamento de oleaginosas destinadas ao processo HEFA por região.**

Oleaginosa	Regiões do Brasil				
	Sudeste	Sul	Norte	Nordeste	Centro-oeste
Soja	1°	1°	1°	1°	1°
Palma	-	-	2°	3°	3°
Macaúba	3°	-	3°	5°	6°
Babaçu	-	-	4°	6°	-
Pinhão-manso	2°	-	-	2°	2°
Algodão	4°	4°	-	4°	4°
Mamona	6°	-	-	7 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Girassol	5°	2°	-	-	5°
Colza	-	3°	-	-	-
Amendoim	7 <sup>a</sup>	-	-	-	-

**Fonte:** Sousa, 2019.

Todas as espécies nativas listadas na Tabela 4 demonstram potencialidades e adaptações naturais específicas, de acordo com as características do solo e do clima de cada região. Devido a esse mapeamento multicritério, essas matérias-primas foram incorporadas ao ranking das oleaginosas regionais mais promissoras para a produção de bioquerosene de aviação, utilizando o processo HEFA. Essa seleção baseada em critérios específicos permite identificar quais espécies têm maior viabilidade e perspectiva para contribuir significativamente com a produção sustentável no país.

#### 4.7.3 Panorama político e econômico

Semelhante ao que ocorreu com o etanol e o biodiesel, a produção de bioquerosene tem o potencial de consolidar ainda mais a posição de destaque do Brasil na produção de biocombustíveis. O país possui conhecimento tecnológico avançado, um setor de biocombustíveis consolidado e bem estabelecido, e uma abundante disponibilidade de matérias-primas. Desde a segunda metade do século XX, o Brasil tem adotado ações governamentais para incentivar o investimento em biocombustíveis, com especial destaque para as recentes iniciativas de produção de bioquerosene, utilizando matérias-primas de espécies regionais e nativas.

Durante a conferência Rio+20, realizada em 2012, a União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO), em parceria com entidades do setor de aviação civil privada, lançou a Plataforma Brasileira do Bioquerosene (PBB), seguindo os moldes do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). O objetivo da PBB era destacar a importância da promoção e produção de biocombustíveis, especialmente o bioquerosene, para o desenvolvimento socioeconômico e sustentável do Brasil (UBRABIO, 2017).

Em 2014, o Governo de Minas Gerais lançou a Plataforma Mineira de Bioquerosene e Renováveis da Zona da Mata (PBioZM), em colaboração com entidades públicas e do setor privado. Essa iniciativa foi criada visando desenvolver cadeias de produção que utilizem diversas biomassas e processos para a fabricação de diesel verde, priorizando matérias-primas regionais com alto potencial energético, como a macaúba. A plataforma está integrada à Plataforma Brasileira do Bioquerosene (PBB) e busca promover o avanço dos biocombustíveis no país. A PBioZM é composta por sete polos de pesquisa e produção, com destaque para o polo de Juiz de Fora, que planeja iniciar a produção de bioquerosene e diesel verde já em 2023. O objetivo ambicioso desse polo é produzir aproximadamente 230 milhões de litros de bioquerosene para aviação (BioQAV) até o ano de 2031 (EPBR, 2021.)

Já em 2015, foram estabelecidas mais duas Plataformas de Bioquerosene no Brasil, uma em Pernambuco e outra no Rio Grande do Sul, ambas com o objetivo de conduzir pesquisas sobre matérias-primas com alto potencial energético para a produção de combustíveis sustentáveis. A plataforma pernambucana tem como base produtiva a cana-de-açúcar, a mamona e a macaúba, enquanto a plataforma gaúcha concentra-se na utilização da soja e do farelo de soja como principais fontes de matéria-prima (SOUZA, 2019).

Por fim, em 2017, foi lançada a Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Sustentáveis para Aviação (RBQAV), com o propósito de promover a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação no setor, por meio de parcerias entre instituições de pesquisa e empresas privadas. A rede também visa oferecer suporte à criação de políticas públicas e outras iniciativas que possam contribuir para a viabilização da produção de bioquerosene e hidrocarbonetos renováveis (RBQAV, 2021).

Além das iniciativas mencionadas, o legislativo brasileiro, em conjunto com os órgãos regulatórios, como a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e o Ministério de Minas e Energia, têm empreendido esforços significativos para promover a política energética brasileira, com foco especial na produção de biocombustíveis. Esses esforços têm como objetivo contribuir para o cumprimento dos compromissos internacionais relacionados à descarbonização e à sustentabilidade

A Tabela 5 resume algumas das principais leis, atos normativos e resoluções que foram publicadas nos últimos anos para regulamentar e promover a produção e o uso do bioquerosene de aviação (BioQAV).

**Tabela 5: Principais leis, atos normativos e regulatórios relacionados ao mercado brasileiro de bioquerosene de aviação.**

Leis, atos normativos e regulatórios	Ementa
Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997	Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.
Resolução ANP nº 17, de 26 de julho de 2006	Regula o exercício da atividade de distribuição de combustíveis de aviação.
Resolução ANP nº 37, de 01 de dezembro de 2009	Fica estabelecida, a especificação do querosene de aviação, destinado exclusivamente ao consumo em turbinas de aeronaves, comercializado por produtores, importadores, distribuidores e revendedores, em todo o território nacional.
Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011	Inclui os biocombustíveis na Lei nº 9.478, de 1997, dispõe sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis e dá outras providências em relação à indústria do petróleo.
Projeto de Lei nº 506, de 2013	Dispõe sobre a criação do Programa Nacional do Bioquerosene como incentivo a sustentabilidade ambiental da aviação brasileira e dá outras providências.

Resolução ANP n° 63, de 05 de dezembro de 2014	Estabelece as especificações dos Querosenes de Aviação Alternativos, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam esses produtos em território nacional.
Lei n° 13.576, de 26 de dezembro de 2017	Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências.
Resolução ANP n° 758, de 23 de novembro de 2018	Regulamenta a certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis de que trata o art. 18 da Lei n° 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e o credenciamento de firmas inspetoras.
Resolução ANP n° 778, de 05 de abril de 2019	Estabelece as especificações do querosene de aviação, querosenes de aviação alternativos e do querosene de aviação C, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializam esses produtos em território nacional.
Resolução ANP n° 779, de 05 de abril de 2019	Altera a Resolução ANP n° 17, de 26 de julho de 2006, para atualizar as definições de querosene de aviação C (QAV C) e querosene de aviação alternativo e vedar a importação de QAV C.
Resolução ANP n° 828, de 01 de setembro de 2020	Dispõe sobre as informações constantes dos documentos da qualidade e o envio dos dados da qualidade dos combustíveis produzidos no território nacional ou importados e dá outras providências.
Resolução n° 7, de 20 de abril de 2021	Institui o Programa Combustível do Futuro, cria o Comitê Técnico Combustível do Futuro e dá outras providências
Lei n° 14.248, de 25 de novembro de 2021	Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira.

**Fonte:** Adaptado de ASSIS, 2022.

A recém-publicada Lei n°. 14.248/21 representa um marco significativo para a regulamentação e promoção dos biocombustíveis no Brasil, destacando-se por estabelecer o Programa Nacional do Bioquerosene. Inserido no contexto do Programa Combustível do Futuro, esse projeto tem como objetivo incentivar a pesquisa e fomentar a produção de bioquerosene a partir de diversas "biomassas". A abrangência da lei vai além de apenas promover o desenvolvimento de novas tecnologias para viabilizar a miscibilidade do bioquerosene com o querosene de aviação de origem fóssil. Ela também visa impulsionar o desenvolvimento de tecnologias que permitam a substituição total do querosene de aviação convencional (BRASIL, 2021).

Além disso, a Lei n°. 14.248/21 estabelece incentivos fiscais e destina recursos financeiros de agências e instituições do governo para apoiar a pesquisa, produção,

comercialização e o uso energético do bioquerosene. Vale ressaltar que para ser elegível a esses benefícios, o bioquerosene precisa ser compatível com as tecnologias de propulsão das aeronaves existentes, de modo que não seja necessário realizar alterações na infraestrutura e que também não comprometa a segurança do sistema de aviação civil (BRASIL, 2021).

## 5 DISCUSSÃO

Conforme abordado, a necessidade de elevar o consumo e produção de biocombustíveis se faz cada vez mais presente, tendo em vista a preocupação em relação as mudanças climáticas que são resultado direto de uma economia global que tem como fonte de energia principal combustíveis de origem fóssil. O mercado de biocombustíveis vem crescendo e se consolidando em diferentes países nas últimas décadas, por trazer alternativas viáveis e acessíveis para substituição de fontes mais poluentes. O Brasil se destaca como uma grande potência nesse sentido, liderando o ranking mundial na produção desses compostos.

Ao comparar o Brasil com o primeiro no ranking mundial, os Estados Unidos, em relação aos custos de produção, temos que atualmente a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é ligeiramente mais alto, porém devido a incentivos governamentais, se tornou um produto com consumo bem estabelecido, sendo utilizado sem problemas por diferentes modelos de carros. A maioria dos automóveis fabricados atualmente são *flex* e podem utilizar apenas o etanol como fonte de energia.

Quando observamos a industrial de transporte aéreo nacional e internacional, temos uma demanda em crescimento, que demonstra um aumento do poder aquisitivo e qualidade de vida dos brasileiros. Porém para estabelecer um mercado sustentável, fatores como custos da operação e impactos ao meio ambiente não podem ser ignorados. Desse modo, o combustível de aviação se destaca nesse sentido, pois representa a maior parte dos custos operacionais, cerca de 30%, e também é a principal questão em relação aos impactos ambientais.

Entretanto, os SAF's representam apenas 0,1% do total do consumo de combustíveis de uso aeronáutico, demonstrando um longo caminho a ser percorrido para que atinja os patamares que o etanol e o biodiesel já possuem. Assim, temos a necessidade de

desenvolvimentos de processos e definição de matéria-prima, para que os mesmos benefícios encontrados no transporte terrestre ocorram na aviação.

Para que isso aconteça alguns desafios precisam ser superados, primeiramente em relação as diretrizes governamentais referentes ao bioquerosene de aviação. É indiscutível que o setor aéreo possui um alto rigor sobre sua operação, principalmente em relação a segurança da aeronave e seu bom funcionamento, mesmo sendo um meio de transporte com relativa baixa incidência de acidentes, quando comparado com meios mais utilizados, como automóveis por exemplo, ainda existe um receio por parte da população. Devido a esse rigor e outros fatores relacionados ao funcionamento das turbinas, o bioquerosene ainda não pode substituir totalmente o combustível de origem fóssil.

Conforme Resolução nº 856/2021, o JET alternativo, denominação dada aos bioquerosenes de aviação obtidos a partir de diferentes processos de produção, deve ser misturado com os JET A e JET A-1, tendo o limite máximo de 50% em volume, ou seja, dependendo do tipo do JET alternativo uma determinada concentração é permitida pela lei no combustível final que vai ser utilizado nas aeronaves.

Diante do cenário exposto, que exige a busca por alternativas que reduzam os impactos ambientais, é fundamental que essas soluções estejam alinhadas aos parâmetros estabelecidos pelos órgãos governamentais. Isso possibilitará o escalonamento da produção de forma a acompanhar a demanda. Nesse contexto, foram analisados os processos encontrados na literatura, devidamente certificados para comercialização e utilização, bem como a viabilidade das matérias-primas que se destacam como mais promissoras.

Para determinação da melhor rota de produção do bioquerosene, inicialmente analisou-se em relação ao seu nível de mistura. Nesse ponto, aos processos por meio da Rota HFS-SIP, que ocorre a partir da fermentação de açúcares com o uso de leveduras modificadas, e HC-HEFA, que utiliza bio-derivados de microalga, se destacam negativamente, por possuírem o menor percentual (10%) permitido na mistura. Além disso, a rota HFS-SIP apresenta uma maturidade intermediária, ou seja, ainda são necessários maiores desenvolvimentos tecnológicos e estudos para uma implantação mais abrangente. Por outro lado, o processo HEFA tem uma tecnologia mais bem desenvolvida em escala comercial, porém o HC-HEFA, ao utilizar como matéria-prima microalgas, se torna também menos atrativo, tendo em vista que a cadeia de produção desse insumo necessita estar mais bem desenvolvida de modo a sustentar a alta demanda, além de existirem outras matérias-primas que o país já produz que podem suprir essa necessidade mais facilmente.

A partir da rota Fischer-Tropsch dois biocombustíveis de aviação podem ser produzidos, sendo a principal diferença que um deles a presença de aromáticos em sua composição (FT-A), e como visto anteriormente na parte definição e composição do combustível de aviação, os aromáticos podem estar presentes no composto, porém por ter menor número de átomos de carbono em relação aos átomos de hidrogênio, quando comparado com os alcanos, liberam menos calor, ou seja, a quantidade de energia disponível por massa de combustível é menor. Quando buscamos um produto que possa a longo prazo substituir o querosene de aviação padrão (JET A e JET A-1) essa característica se demonstra como uma desvantagem, pois possíveis alterações nos motores das aeronaves deveriam ser realizadas, fato que aumentaria os custos da operação.

Por outro lado, querosene alternativo obtido por FT que não possui a adição de aromáticos, pode ocorrer por diferentes processos de conversão de biomassa, como gaseificação, pirólise e liquefação. No entanto, a rota comercialmente estabelecida e certificada se dá a partir da gaseificação, que converte materiais carbonosos, como biomassa, em gás de síntese, ocorrendo em temperaturas elevadas.

Entretanto, a qualidade do gás de síntese é de extrema importância de modo que a limpeza desse gás desempenha um papel fundamental para assegurar uma produção eficiente de combustíveis líquidos. Assim a escolha da tecnologia de gaseificação e purificação são fatores que podem encarecer o processo significativamente. No caso da gaseificação à plasma, o gás de síntese produzido possui grande pureza, porém possui um maior custo operacional. Ao utilizar tecnologias de gaseificação mais simples e econômicas se produz um gás de qualidade inferior, demandando processos de limpeza mais abrangentes que também podem encarecer a produção por essa via. Essa questão não se demonstra tão problemática quando se utilizam gás natural o carvão, porém essas matérias-primas são em sua maioria, de origem fóssil, o que resultaria em um combustível não sustentável ecologicamente. Desse modo, a rota por FT se demonstrou ainda em desenvolvimento quando se utiliza biomassa, estando em fase de demonstração em alguns países da Europa e nos Estados Unidos.

Ao analisar a Rota *Alcohol to Jet* (ATJ) é possível notar um grande ponto positivo, pois são capazes de converter diversos tipos de álcoois provenientes de uma ampla gama de fontes em combustível de aviação, além de oferecer uma flexibilidade logística, pois a planta de catálise de álcool não precisa estar localizada junto à produção de álcool, permitindo que os álcoois sejam convenientemente transportados e armazenados. Para o Brasil, essa rota se faz interessante, ao vermos que a produção de etanol em larga escala é uma realidade, com

até mesmo a Raízen tendo um projeto piloto ATJ utilizando como biomassa a cana-de-açúcar. Porém a principal fraqueza dessa via pode ser exatamente seu melhor benefício, ao utilizar a mesma biomassa que o etanol a seletividade de produção pode ser afetada, pois, como dito anteriormente, o mercado de etanol está bem estruturado e posicionado no mercado, um novo produto com produção em larga escala competiria diretamente com o consumo do etanol para automóveis.

Outra rota estudada foi CHJ, Hidrotermólise Catalítica para Querosene Sintético, cuja as informações detalhadas sobre o processo e projetos pilotos não foram encontradas, demonstrando estar em fase de desenvolvimento, sendo assim, necessários maiores esforços para sua viabilidade. Com isso, foi possível identificar uma futura oportunidade de estudos e teste laboratoriais que possam aprofundar a discussão sobre esse processo, indicando quais os principais desafios e tecnologias para sua viabilidade comercial.

Por fim, temos o processo HEFA que utiliza óleos vegetais e gorduras animais. Nesse processo, apenas cerca de 15% do rendimento líquido total consiste em combustível de aviação, sendo o principal produto derivado do processo o biodiesel. Diferentemente da rota ATJ, esse processo não utiliza um produto que poderia ser comercializado diretamente, como é o caso do etanol, mas tem como um de seus produtos outro combustível, o biodiesel.

Conforme IEA (2021), existe a necessidade de infraestrutura e processamento adicionais para o processo de craqueamento do biodiesel ocorra, aumentando assim, o rendimento da produção de combustível de aviação na Rota HEFA. Porém, esse processo se apresenta como a melhor opção a curto prazo, devido ao fato de a tecnologia já estar bem desenvolvida em escala comercial, ser um processo mais simples e apresentar menores custos.

Quando se trata dos processos que utilizam óleo vegetal como matéria-prima, é essencial considerar a adequação da cadeia produtiva à disponibilidade regional. Tendo em vista que, para redução de custos no transporte e armazenamento, os arranjos produtivos devem estar localizados próximos aos centros consumidores, ou seja, para que os diversos aeroportos do país possam utilizar esse biocombustível, a produção deve ocorrer a partir de uma biomassa que se adeque as condições climáticas e de solo dessas regiões.

Conforme observado na Tabela 4, a soja se destaca como a opção mais promissora de matéria-prima para a produção de bioquerosene, especialmente a curto prazo, devido ao fato de ser a oleaginosa produzida em maior quantidade e liderar o ranking em todas as regiões. No entanto, para garantir a sustentabilidade e a expansão contínua da cadeia produtiva, é

essencial diversificar as fontes de matéria-prima a médio e longo prazo. Nesse sentido, outras oleaginosas como dendê (palma), algodão, girassol e canola, podem ser consideradas como opções viáveis.

Contudo, entende-se que o processo HEFA se demonstra mais viável para a produção de bioquerosene de aviação, ainda mais quando olhamos para as matérias-primas que podem ser utilizadas, com destaque para a soja. Entretanto, é possível observar que outros processos e fontes de biomassa também podem trazer um resultado promissor. Diante disso, o incentivo por meio de leis e resoluções do governo devem continuar evoluindo, para que estudos e pesquisas sobre o tema estejam em pauta em universidades e na indústria. Assim, a cadeia produtiva de bioquerosene de aviação poderá ser bem desenvolvida, sendo mais um passo para tornar o Brasil um país sustentável e com ampla fonte de energia renovável.

## 6 CONCLUSÃO

Diante de todo o exposto neste trabalho, pode-se concluir que o processo tecnológico mais viável para a produção de bioquerosene de aviação no contexto brasileiro é a Rota HEFA, com a soja como matéria-prima de curto prazo. Outras oleaginosas, como dendê (palma), algodão, girassol e canola, também apresentam potencial de utilização a médio e longo prazo.

Embora outros processos também tenham mostrado promissoras perspectivas, eles requerem esforços adicionais para alcançar maior viabilidade. A rota a partir da síntese Fischer-Tropsch enfrenta desafios relacionados aos custos de gaseificação e purificação; enquanto o processo *Alcohol to Jet* apresenta dificuldades em relação à seletividade de produção, considerando a já estabelecida cadeia produtiva e mercado de etanol no país.

Para que o consumo e produção de bioquerosene de aviação cresçam e contribuam para a redução de gases de efeito estufa, tornando-se uma solução efetiva para enfrentar as mudanças climáticas, é imprescindível que o incentivo do governo e de órgãos como a ANP e a IATA, por meio de leis e resoluções continue evoluindo. Essa busca por uma operação aérea ambientalmente sustentável possibilitará consolidar o Brasil como uma potência na produção de biocombustíveis no mundo, trazendo benefícios significativos para o país e ao planeta como um todo.

## REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Mais de 103 milhões de passageiros foram transportados em 2018 por empresas brasileiras.** 2019. Disponível em: [https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/newsletter/2019/ANACInformaJANEIRO\\_2019.pdf](https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/newsletter/2019/ANACInformaJANEIRO_2019.pdf). Acesso em: 27 de maio de 2023.

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Anuário do transporte aéreo.** Gráficos e Tabelas 2019. Brasília, DF: Anac, 2020.

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Inventário anual de emissões atmosféricas da aviação civil – 2019.** Brasília, DF: Anac, 2019. Disponível em: [https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes\\_v6.pdf](https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes_v6.pdf). Acesso em: 27 de junho de 2023.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução nº. 856, de 22 de outubro de 2021.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-856-de-22-de-outubro-de-2021-354349404>. Acesso em: 15 de julho de 2023.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Dados estatísticos.** Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 22 out. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Acesso em: 25 junho de 2023.

ASSIS, G. N. C. M. **Simulação e análise econômica de diferentes matérias-primas para produção de Bioquerosene de Aviação pelo processo HEFA no cenário brasileiro.** UFRJ. Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/18495/1/GNCMAssis.pdf>. Acesso em: 19 de julho de 2023.

ASTM. *Standard specification for aviation turbine fuel containing synthesized hydrocarbons.* USA: ASTM International, 2021.

AXON, C. J.; DARTON, R. C. *Sustainability and risk—a review of energy security. Sustainable Production and Consumption*, v.27, p.1195-1204, 2021.

BAUEN, A. *et al.* **Review of the potential for biofuels in aviation. Final report prepared for the Committee on Climate Change.** 4 ed. Suíça, 2009.

BAUEN, A.; *et al.* **Sustainable aviation fuels: status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation.** Johnson Matthey Technol. Rev., v. 64, n. 3, p. 263-278, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1595/205651320X15816756012040>. Acesso em: 27 de julho de 2023.

BLAKEY, S.; RYE, L.; WILSON, C. W. *Aviation gas turbine alternative fuels: A review. Proceedings of the combustion institute*, Elsevier, v. 33, n. 2, p. 2863–2885, 2011.

BP. *Statistical Review of World Energy 2020*. 69. ed. Londres. BP, 2020. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

BRASIL. **Lei Nº 14.248, de 25 de novembro de 2021**. Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2021/lei-14248-25-novembro-2021-791992-norma-pl.html>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.

CANA ONLINE. **Quão competitiva é a produção de biocombustíveis no Brasil e nos Estados Unidos**. Ribeirão Preto, 12 mar. 2019. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/quao-competitiva-e-a-producao-de-biocombustiveis-no-brasil-e-nos-estados-unidos.html>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

CANTARELLA, Heitor *et al.* (2015). *Potential feedstock for renewable aviation fuel in Brazil*. *Environmental Development*, v. 15, p. 52-63. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464515000408>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

CGEE – Centro de Gestão e estudos estratégicos. **Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios**. (Série Documentos Técnicos, 8). Brasília: CGEE, 2010.

CONEXÃO INTERNACIONAL. **Revista sobre a atuação internacional da ANAC**. Volume 2 Nº 2 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/internacional/publicacoes/revista-conexao-internacional/revista-conexao-internacional-4ed>. Acesso em: 28 de maio de 2023.

CRC. *Handbook of Aviation Fuel Properties*. Atlanta: Society of Automotive Engineers, Inc., 1983.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Matérias-primas oleaginosas para a produção de bioquerosene – oportunidades e desafios. Artigo Agronomia. Publicado em 12 de junho de 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3344909/artigo-materias-primas-oleaginosas-para-a-producao-de-bioquerosene--oportunidades-e-desafios>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica: Papel dos biocombustíveis na matriz**. 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-155/EPE%20-%20NT1%20-%20PAPEL%20DOS%20BIOCOMBUST%20-%20ARQUIVO%201.pdf>. Acesso em: 27 de maio de 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis – ano 2020**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2021. (Nota

Técnica). Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03\\_Analise\\_de\\_Conjuntura\\_dos\\_Biocombustiveis\\_ano\\_2020.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_ano_2020.pdf). Acesso em: 20 de junho de 2023.

EPBR. **Ganhos com entrada de novo combustível de aviação esbarram em gargalos do mercado brasileiro**. Publicado em 17 de agosto de 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/ganhos-com-entrada-de-novo-combustivel-de-aviacao-esbarram-em-gargalos-do-mercado-brasileiro/>. Acesso em: 30 de julho de 2023.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.

IATA – ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AÉREO. **O valor do transporte aéreo no Brasil: desafios e oportunidades para o futuro**. São Paulo: Iata, [2019]. Disponível em: [https://valordaaviacao.org.br/wp-content/uploads/2019/07/IATA\\_Valor\\_do\\_Transporte\\_Aereo\\_no\\_Brasil\\_Maio\\_2019.pdf](https://valordaaviacao.org.br/wp-content/uploads/2019/07/IATA_Valor_do_Transporte_Aereo_no_Brasil_Maio_2019.pdf). Acesso em: 25 de junho de 2023.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Sustainable aviation fuels guide**. Montreal: Icao, 2017. Disponível em: [https://www.icao.int/environmental-protection/knowledge-sharing/Docs/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide\\_vf.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/knowledge-sharing/Docs/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_vf.pdf). Acesso em: 22 de junho de 2023.

IEA - Agência Internacional de Energia. **Dados e estatísticas**. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>>. Acesso em: 27 de maio de 2023.

IEA *Bionergy. Progress in commercialization of biojet/sustainable aviation fuels (SAF): technologies, potential and challenges*. Task 39. 2021.

IRENA (International Renewable Energy Agency). **“Where will we get our biojet?”**. 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2019/May/biojet-EUBCE/0-DolfGielen.pdf?la=en&hash=1FA1D387B23EA8DF00635733670D8CC1B0519DD2>. Acesso em: 28 de julho de 2023.

KASIKAMPHAIBOON, P.; KHUNJAN, U. **CO<sub>2</sub> Adsorption from biogas using amine-functionalized MgO**. Hindawi., v. 2018, p. 8.

LIU, Y.; MURATA, K.; INABA, M. 2019. **Hydrocracking of algae oil to aviation fuel-ranged hydrocarbons over NiMo-supported catalysts**. Catalysis Today., v. 332, p. 115-121, 2019.

MANTOVANI, P. R. A.; NEUMANN, P. N.; EDLER, M. A. R. Matriz Energética Brasileira: Em busca de uma nova alternativa. **Revista Interdisciplinar De Ensino, Pesquisa E Extensão-RevInt**, v.4, n.1, 2017.

MENEZES, R. S. *et al.* **Análise Econômica de Diferentes Rotas de Produção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação**. ProQR – Combustível Alternativos sem Impactos Climáticos. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-combustivel-do-futuro/analise-economica-diferentes-rotas-de-producao-de-saf.pdf>. Acesso em: 05 de agosto de 2023.

MILANEZ, A. Y. *et al.* **Biocombustível de aviação no Brasil: uma agenda de sustentabilidade**. BNDES. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22048/1/PR\\_Biocombustiveis%20de%20Avia%C3%A7%C3%A3o%20no%20Brasil\\_Revista%20BNDES\\_n.%2056.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22048/1/PR_Biocombustiveis%20de%20Avia%C3%A7%C3%A3o%20no%20Brasil_Revista%20BNDES_n.%2056.pdf). Acesso em: 17 de junho de 2023.

MENG, W. *et al.* **Biomass-derived aviation fuels: Challenges and perspective**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 79, p. 31-49, 2019.

NG, K.S.; FAROOQ, D.; YANG, A. 2021. **Global biorenewable development strategies for sustainable aviation fuel production: renewable and Sustainable Energy Reviews 150111502**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/353403500\\_Global\\_biorenewable\\_development\\_strategies\\_for\\_sustainable\\_aviation\\_fuel\\_production](https://www.researchgate.net/publication/353403500_Global_biorenewable_development_strategies_for_sustainable_aviation_fuel_production). Acesso em: 15 de julho de 2023.

PAIXÃO, M. A. S.; MIRANDA, S. H. G. **Um comparativo entre a política de energia renovável no Brasil e na China**. Pesquisa & Debate. Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Economia Política, v. 29, n. 1 (53), 2018.

PETROBRÁS. **Querosene de Aviação: Informações Técnicas**. 2021. Disponível em: <https://petrobras.com.br/data/files/9A/47/97/3E/104ED7105FC7BCD7E9E99EA8/Manual%20de%20Querosene%20de%20Aviacao%202021.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

RAHMES, T. *et al.* **Sustainable bio-derived synthetic paraffinic kerosene (bio-spk) jet fuel flights and engine tests program results**. In: *9th AIAA aviation technology, integration, and operations conference (ATIO) and aircraft noise and emissions reduction symposium (ANERS)*. [S.l.]: USA, 2009. p. 7002. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2009-7002>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

RBQAV - REDE BRASILEIRA DE BIOQUEROSENE E HIDROCARBONETOS SUSTENTÁVEIS PARA AVIAÇÃO. **Quem somos**. Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Sustentáveis para aviação, [S. l.], p. 1, 15 nov. 2021. Disponível em: <https://rbqav.com.br/quem-somos>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.

RSB – *ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOMATERIALS*. **Decarbonising aviation: the sustainable way forward**. Geneva: RSB, 2021. Disponível em: <https://rsb.org/wp->

[content/uploads/2020/06/RSB-Alternative-Aviation-Fuels-A-Sustainable-Future-is-Taking-Off.pdf](#). Acesso em: 23 de junho de 2023.

ROITMAN, Tamar. **Perspectivas e propostas de inserção de bioquerosene de aviação no transporte aéreo de passageiros no Brasil**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, 2019.

SOUZA, L. M. **O Mercado Brasileiro de Bioquerosene de Aviação: Mapeamento Multicritério para Seleção de Oleaginosas para o Processo HEFA**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/combustivel-do-futuro/subcomites-1/probioqav/tese-lorena-mendes-mercado-brasileiro-de-bioquerosene-de-aviacao-mapeamento-multicriterio-para-selecao-de-oleaginosas.pdf>. Acesso em: 19 de julho de 2023.

UBRABIO. (2017). **Bioquerosene no Brasil**. Disponível em: <https://www.ubrabilio.com.br/wp-content/uploads/2018/03/BioquerosenennoBrasil.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.

VENSON, G. G. **Introdução a Motores Baseados em Turbinas a Gás**. Faculdade de Engenharia Aeronáutica – UNITAU, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/14306437-Introducao-a-motores-baseados-em-turbinas-a-gas.html>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

## ANEXO A - FISPQ QAV

**1 - IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA**

<b>Nome do produto</b>	QAV-1 COM ANTI-ESTÁTICO
<b>Código interno de identificação</b>	BR0031
<b>Principais usos recomendados para a substância ou mistura:</b>	Fabricação de substâncias, uso em processos químicos ou como agente de extração. Formulação e embalagem de substâncias e misturas. Uso em revestimentos (tintas e adesivos). Uso em produtos de limpeza. Uso em aplicações rodoviárias e de construção. Processamento de metais. Uso como agente ligante ou desmoldante. Uso em agroquímicos. Combustível. Lubrificante. Uso como fluido funcional (fluidos de transferência, refrigerantes isolantes, hidráulicos, etc). Fabricação de explosivos.
<b>Nome da empresa</b>	PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A.
<b>Endereço</b>	Rua Correia Vasques, 250. 20211-140 - Cidade Nova - Rio de Janeiro (RJ).
<b>Telefone</b>	0800 728 9001
<b>Telefone para emergências</b>	08000 24 44 33

**2 - IDENTIFICAÇÕES DE PERIGOS**

<b>Classificação de perigo do produto</b>	Líquidos inflamáveis – Categoria 3 Corrosivo/irritante à pele – Categoria 2 Olhos danos/irritação ocular – Categoria 2B Toxicidade para órgão-alvo após única exposição – Categoria 3 Toxicidade para órgão-alvo após única repetida – Categoria 2 Perigo por aspiração – Categoria 1 Perigoso para o ambiente aquático – perigo agudo – Categoria 2
<b>Sistema de classificação adotado</b>	Norma ABNT-NBR 14725-Parte 2:2009. Adoção do Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU.
<b>Outros perigos que não resultam em uma classificação:</b>	O produto não possui outros perigos.

**ELEMENTOS APROPRIADOS DA ROTULAGEM****Pictogramas****Palavra de advertência**

ATENÇÃO

**Frase de advertência**

Líquido e vapor inflamável.  
 Causa irritação à pele.  
 Provoca irritação ocular.  
 Suspeito de causar câncer.  
 Pode causar irritação respiratória (irritação da área respiratória).  
 Pode causar sonolência e vertigem (efeitos narcóticos).  
 Pode provocar danos aos órgãos do sistema nervoso central por exposição repetida ou prolongada.  
 Pode ser mortal em caso de ingestão e por penetração nas vias respiratórias.  
 Tóxico para os organismos aquáticos.

**Frase de precaução**

Mantenha afastado do calor, faísca, chama abertas, superfícies quentes. - Não fume.  
 Aterre o vaso contentor e o receptor do produto durante transferências.  
 Utilize apenas ao ar livre ou em locais bem ventilados.  
 EM CASO DE INALAÇÃO: Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração.  
 EM CASO DE CONTATO COM A PELE: Lave com água e sabão em abundância.  
 Armazene em local bem ventilado. Mantenha recipiente hermeticamente fechado.

**3 - COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE OS INGREDIENTES****>>> SUBSTÂNCIA DE PETRÓLEO**

**Nome químico comum ou nome técnico:** Querosene

**Grupo de substância de petróleo:** Esta categoria é composta por um complexo de substâncias derivadas de petróleo, que possuem ponto de ebulição entre 302 a 554 °F (150 a 290 °C) e cadeia carbônica variando entre 9 e 16.

**Sinônimo:** Querosene (petróleo), hidrodessulfurizado

**Número de registro CAS:** 64742-81-0

**Impurezas que contribuam para o perigo:** Este produto não contém impurezas que contribuam para o perigo.

#### 4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

<b>Inalação</b>	Remova a vítima para local arejado e mantenha-a em repouso. Monitore a função respiratória. Se a vítima estiver respirando com dificuldade, forneça oxigênio. Se necessário aplique respiração artificial. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.
<b>Contato com a pele</b>	Remova as roupas e sapatos contaminados. Lave a pele exposta com grande quantidade de água, por pelo menos 15 minutos. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.
<b>Contato com os olhos</b>	Lave com água corrente por pelo menos 15 minutos, mantendo as pálpebras abertas. Retire lentes de contato quando for o caso. Procure atenção médica imediatamente. Leve esta FISPQ.
<b>Ingestão</b>	Lave a boca da vítima com água em abundância. NÃO INDUZA O VÔMITO. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.
<b>Sintomas e efeitos mais importantes, agudos ou tardios:</b>	Causa irritação à pele e aos olhos com vermelhidão e dor. Tosse, dor de garganta e dificuldade respiratória. Tontura, náusea, dor de cabeça, confusão mental, alucinações e perda de consciência.
<b>Proteção do prestador de socorros e/ou notas para o médico</b>	Evite contato com o produto ao socorrer a vítima. Mantenha a vítima em repouso e aquecida. Não forneça nada pela boca a uma pessoa inconsciente. O tratamento sintomático deve compreender, sobretudo, medidas de suporte como correção de distúrbios hidroeletrólíticos, metabólicos, além de assistência respiratória.

#### 5 - MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

<b>Meios de extinção</b>	Apropriados: Pó químico, espuma resistente a álcool, dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) e neblina de água. Não recomendados: Jatos d'água. Água diretamente sobre o líquido em chamas.
<b>Perigos específicos da mistura ou substância:</b>	Vapores podem se espalhar para as fontes de ignição e provocar retrocesso de chama. Contêineres fechados podem romper-se violentamente quando exposto ao fogo ou calor excessivo. Risco de explosão em espaços confinados, drenagem e sistema de esgoto.
	Os vapores podem formar misturas explosivas com ar.
<b>Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:</b>	Equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo (SCBA) com pressão positiva e vestuário protetor completo. Contêineres e tanques envolvidos no incêndio devem ser resfriados com jatos d'água.

## 6 - MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

### Precauções pessoais

Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência: Produto inflamável. Remova todas as fontes de ignição. Impeça fagulhas ou chamas. Não fume. Não toque nos recipientes danificados ou no material derramado sem o uso de vestimentas adequadas. Evite inalação, contato com os olhos e com a pele. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na seção 8.

Para pessoal de serviço de emergência: Utilizar EPI completo, com óculos de proteção com proteção lateral, luvas de proteção de PVC, vestuário protetor adequado.

**Precauções ao meio ambiente:** Evite que o produto derramado atinja cursos d'água e rede de esgotos.

### Métodos para limpeza

Métodos e materiais para contenção e limpeza: Colete o produto derramado e coloque em recipientes próprios. Adsorva o produto remanescente, com areia seca, terra, vermiculite, ou qualquer outro material inerte. Coloque o material adsorvido em recipientes apropriados e remova-os para local seguro.

Diferenças na ação de grandes e pequenos vazamentos: Não há distinção entre as ações de grandes e pequenos vazamentos para este produto.

## 7 - MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

### Medidas técnicas apropriadas para o manuseio

**Prevenção da exposição do trabalhador** Evite inalação e o contato com a pele, olhos e roupas. Evite respirar vapores/névoas do produto. Utilize equipamento de proteção individual ao manusear o produto, descritos na seção 8.

**Precauções e orientações para manuseio seguro** Manuseie o produto somente em locais bem arejados ou com sistemas de ventilação geral/local adequado. Evite formação de vapores ou névoas do produto.

**Medidas de higiene** Não coma, beba ou fume durante o manuseio do produto. Lave bem as mãos antes de comer, beber, fumar ou ir ao banheiro. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes de sua reutilização.

### Condições de armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade

**Prevenção de incêndio e explosão:** Mantenha afastado do calor, faísca, chama aberta e superfícies quentes. — Não fume. Mantenha o recipiente hermeticamente fechado. Aterre o vaso contedor e o receptor do produto durante transferências. Utilize apenas ferramentas anti-faísca. Evite o acúmulo de cargas

eletrostáticas. Utilize equipamento elétrico, de ventilação e de iluminação à prova de explosão.

**Condições adequadas:** O local de armazenamento deve ter piso impermeável, isento de materiais combustíveis e com dique de contenção para reter em caso de vazamento. Armazenar em tanques adequados colocados na barreira de contenção em caso de vazamento.

**Materiais seguros para embalagens** Não especificado

## 8 - CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

### Parâmetros de controle específicos

#### Limite de exposição ocupacional

Ingredientes	TLV – TWA (ACGIH)
Querosene	200mg/m <sup>3</sup> (P)

(P) Aplicação restrita às condições em que a exposição a aerossóis é insignificante.

-Indicadores biológicos:

Não estabelecidos.

#### Medida de controle de engenharia

Promova ventilação mecânica e sistema de exaustão direta para o meio exterior. Estas medidas auxiliam na redução da exposição ao produto. É recomendado tornar disponíveis chuveiros de emergência e lava olhos na área de trabalho. Manter as concentrações da substância ou mistura no ar abaixo dos limites de exposição ocupacional indicados.

#### Equipamento de proteção individual apropriado

##### Proteção respiratória

Recomenda-se a utilização de respirador com filtro para vapores orgânicos para exposições médias acima da metade do TLV-TWA. Nos casos em que a exposição exceda 3 vezes o valor TLV-TWA, utilize respirador do tipo autônomo (SCBA) com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva. Siga orientação do Programa de Prevenção Respiratória (PPR), 3ª ed. São Paulo: Fundacentro, 2002

##### Proteção das mãos

Luvas de proteção de PVC.

##### Proteção dos olhos/face

Óculos de segurança (onde houver risco de espirros).

##### Proteção da pele e corpo

Luvas de proteção (recomenda-se PVC ou nitrílica) e vestimenta protetora resistente ao produto (onde houver risco de espirro).

##### Perigos térmicos:

Não apresenta perigos térmicos.

##### Precauções especiais

Evite usar lentes de contato enquanto manuseia este produto.

## 9 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Aspecto	Líquido claro e puro ( isento de água e material em suspensão)
Odor	Característico e desagradável
Ph	Não aplicável.
Ponto de fusão/ponto de congelamento	Não disponível.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	>35°C
Ponto de fulgor	40 °C (vaso fechado)
Taxa de evaporação	Não disponível.
Inflamabilidade	Produto altamente inflamável
Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade	Superior (LES): 5,0% Inferior (LEI):0,7%
Pressão de vapor	Não disponível.
Densidade de vapor	4,5
Densidade	0,804.

<b>Solubilidade</b>	Na água: Desprezível Em solventes orgânicos: solúvel
<b>Coefficiente de partição – n-octanol/água</b>	Log kow: 3,3-6,0
<b>Temperatura de auto-ignição</b>	238 °C.
<b>Temperatura de decomposição</b>	Não disponível
<b>Viscosidade</b>	8,0 Cst @ -20 °C; Método: ASTM-D445.
<b>Faixa de destilação</b>	150 - 300 °C @ 101,325 kPa (760 mmHg)
<b>Ponto de combustão</b>	Não disponível.

## 10 - ESTABILIDADE E REATIVIDADE

<b>Estabilidade e reatividade química:</b>	Estável sob condições usuais de manuseio e armazenamento. Não sofre polimerização.
<b>Possibilidade de reações perigosas:</b>	Reage violentamente com agentes oxidantes fortes.
<b>Condições a serem evitadas:</b>	Temperaturas elevadas. Fontes de ignição. Contato com materiais incompatíveis.
<b>Materiais/substâncias incompatíveis</b>	Agentes oxidantes fortes como peróxidos, cloratos e ácido crômico.
<b>Produtos perigosos da decomposição</b>	Em combustão libera vapores tóxicos e irritantes.

## 11 - INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

<b>Toxicidade aguda</b>	Produto não classificado como tóxico agudo. DL <sub>50</sub> (dérmica, coelho): > 3000mg/kg DL <sub>50</sub> (oral, rato): 53000mg/kg
<b>Corrosão/irritação da pele:</b>	Causa irritação à pele com vermelhidão e dor no local atingido.
<b>Lesões oculares graves/ irritação ocular:</b>	Causa irritação ocular com vermelhidão e dor.
<b>Sensibilização respiratória ou à pele:</b>	Não é esperado que o produto provoque sensibilização respiratória ou à pele.
<b>Mutagenicidade em células germinativas:</b>	Não é esperado que o produto apresente mutagenicidade em células germinativas.
<b>Carcinogenicidade:</b>	Não é esperado que o produto apresente carcinogenicidade.
<b>Toxicidade à reprodução:</b>	Não é esperado que o produto apresente toxicidade à reprodução.
<b>Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição única:</b>	Pode causar irritação da via aérea superior se inalado, causando tosse, dor de garganta e dificuldade de respiração. Como um depressor do Sistema Nervoso Central (SNC) pode causar dor de cabeça, náusea, tontura, confusão mental e perda de consciência.
<b>Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição repetida:</b>	Contato prolongado e repetido com a pele pode causar dermatite.
<b>Perigo por aspiração:</b>	Pode causar pneumonite se aspirado. Pode causar a morte se ingerido ou inalado.

## 12 - INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

### Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto

<b>Ecotoxicidade</b>	Tóxico para os organismos aquáticos. CL <sub>50</sub> (invertebrados, 48h): 1,4 mg/L
<b>Persistência e degradabilidade</b>	É esperada baixa degradação e alta persistência.
<b>Potencial bioacumulativo</b>	É esperado potencial de bioacumulação em organismos aquáticos.  Log kow: 3,3 - 6,0.
<b>Mobilidade no solo:</b>	Não determinada.
<b>Outros efeitos adversos:</b>	Em casos de grandes vazamentos, o produto pode ser perigoso para os organismos aquáticos devido à possibilidade de formação de uma película do produto na superfície da água, a qual pode reduzir o nível de oxigênio dissolvido.

## 13 - CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

### Métodos recomendados para tratamento e disposição aplicados ao

<b>Produto</b>	Evite a exposição ocupacional ou a contaminação ambiental. Recicle qualquer parcela não utilizada do material para seu uso aprovado ou retorná-lo ao fabricante ou ao fornecedor. Outros métodos consultar legislação federal e estadual: Resolução CONAMA 005/1993, NBR 10.004/2004.
<b>Restos de produtos</b>	Manter restos do produto em suas embalagens originais, fechadas e dentro de tambores metálicos, devidamente fechados, de acordo com a legislação aplicável. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto, recomendando-se as rotas de processamento em cimenteiras e a incineração.
<b>Embalagem usada</b>	Nunca reutilize embalagens vazias, pois elas podem conter restos do produto e devem ser mantidas fechadas e encaminhadas para serem destruídas em local apropriado. Neste caso, recomenda-se envio para rotas de recuperação dos tambores ou incineração.

## 14 - INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

### Regulamentações nacionais e internacionais

<b>Terrestre</b>	Decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1988: Aprova o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos e dá outras providências. Agência Nacional de transportes terrestres (ANTT): Resolução Nº. 5232/16.
<b>Hidroviário</b>	DPC – Diretoria de Portos e Costas ( Transporte em águas brasileiras) Normas de Autoridade Marítima (NORMAM) NORMAM 01/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto. NORMAM 02/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação Interior. IMO – “International Maritime Organization” ( Organização Marítima Internacional) International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) – Incorporating Amendment 34-08;2008 Edition.
<b>Aéreo</b>	DAC -Departamento de Aviação Civil: IAC 153-1001. Instrução de Aviação Civil – Normas para o transporte de artigos perigosos em aeronaves civis.

IATA – “ International Air Transport Association” ( Associação Nacional de Transporte Aéreo)  
Dangerous Goods Regulation (DGR) - 51

<b>Número ONU</b>	1863
<b>Nome apropriado para embarque</b>	COMBUSTÍVEL PARA AVIÕES A TURBINA.
<b>Classe e subclasse de risco principal e subsidiário</b>	3
<b>Número de risco</b>	30
<b>Grupo de embalagem</b>	III

## 15 - REGULAMENTAÇÕES

### Regulamentações

Decreto Federal nº 2.657, de 3 de julho de 1998.

Norma ABNT-NBR 14725:2012.

Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.

Portaria MTE nº 704 de 28 de maio de 2015 – Altera a Norma Regulamentadora nº 26.

## 16 - OUTRAS INFORMAÇÕES

### Informações importantes

Esta FISPQ foi elaborada baseada nos conhecimentos atuais do produto químico e fornece informações quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente.

Adverte-se que o manuseio de qualquer substância química requer o conhecimento prévio de seus perigos pelo usuário. Cabe à empresa usuária do produto promover o treinamento de seus empregados e contratados quanto aos possíveis riscos advindos do produto.

### Siglas

**ACGIH** - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

**CAS** - *Chemical Abstracts Service*

**DL<sub>50</sub>** - Dose letal 50%

**IARC** – *International Agency for Research on Cancer*

**STEL** – *Short Term Exposure Limit*

**TLV** - *Threshold Limit Value*

**TWA** - *Time Weighted Average*

Fonte: PETROBRAS, **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ:** QAV-1 com anti-estático. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://vibraenergia.com.br/sites/default/files/2021-08/seguranca-querosene-de-aviacao-com-antiestatico.pdf>. Acessado em: 16/07/2023.

## ANEXO B: Tabelas resolução ANP N° 856/2021

Especificações dos combustíveis de aviação Tabela I - Especificação do JET A, do JET A-1 e do JET C.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	ABNT NBR	MÉTODO EI	ASTM
1	APARÊNCIA					
11	Aspecto	-	claro, límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temperatura ambiente	14954 (1)	-	D4176 (1)
12	Cor	-	Anotar	14921	-	D156 D6045
13	Partículas contaminantes, máx. (2)	mg/L	1,0	-	IP 423 IP 216	D5452 D2276
2	COMPOSIÇÃO					
2.1	Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
2.2 2.2.1	Aromáticos, máx. (3)	% volume	25	14932	IP 156 (35)	D1319 (35) D8267 (37)
						D8305 (37)
		% volume	26,5	-	IP 436	D6379
2.3	Enxofre total, máx.	% massa	0,30	14533	IP 336	D1266 D2622 D4294 D5453
2.4 2.4.1	Enxofre mercaptídico, máx. ou Ensaio Doctor (4)	% massa	0,003	6298	IP 342	D3227
		-	negativo	5275	IP 30	D4952
3	COMPONENTES NA EXPEDIÇÃO DA REFINARIA PRODUTORA (5)					
3.1	Fração hidroprocessada	% volume	anotar	-	-	-
3.2	Fração severamente hidroprocessada (6)	% volume	anotar	-	-	-
4	VOLATILIDADE					
4.1	Destilação			9619 (7)	IP 123 (7) IP 406 (8)	D86 (7) D2887 (8) D7344 (8) D7345 (8)

4.11	Ponto Inicial de Ebulição (PIE)	°C	anotar			
4.12	10% vol. recuperados (T10), máx.	°C	205,0			
4.13	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
4.14	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
4.15	Ponto Final de Ebulição (PFE), máx.	°C	300,0			
4.16	Resíduo, máx.	% volume	1,5			
4.17	Perda, máx. (9)	% volume	1,5			
4.2	Ponto de fulgor, mín. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523	D56 D93 D3828 D7236 (38)
4.3	Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	771,3 a 836,6	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052
5	FLUIDEZ					
5.1	Ponto de congelamento, máx. (11)	°C	47 negativos (JET A-1) 40 negativos (JET A)	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154
5.2	Viscosidade a 20°C negativos, máx.	mm <sup>2</sup> /s	8,0	10441	IP 71 (12)	D445 (12) D7042 (12) D7945
6	COMBUSTÃO					
6.1	Poder calorífico inferior, mín.	MJ/kg	42,8	-	IP 12	D4529 D3338 D4809
6.2	Ponto de fuligem, mín. ou	mm	25,0	11909	IP 598	D1322
6.2.1	Ponto de fuligem, mín. e	mm	18,0	11909	IP 598	D1322
6.2.2	Naftalenos, máx. (13)	% volume	3,0	-	-	D1840 D8305 (37)
7	CORROSÃO					
7.1	Corrosividade ao cobre (2h a 100°C), máx.	-	1	14359	IP 154	D130
8	ESTABILIDADE					
8.1	Estabilidade térmica 2,5h - mín. 260°C			-	IP 323	D3241
8.1.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
8.1.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
8.1.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			

9	CONTAMINANTES					
9.1	Goma atual, máx. (17)	mg/100 mL	7	14525	IP 540	D381
9.2	Chumbo, máx. (33)	g/L	0.005	-	-	D3237
9.3	Índice de separação de água, MSEP (18)			-	-	D3948
9.3.1	com dissipador de cargas estáticas, min.	-	70			
9.3.2	sem dissipador de cargas estáticas, min.	-	85			
10	CONDUTIVIDADE					
10.1	Condutividade elétrica (19)	pS/m	50 a 600	-	IP 274	D2624
11	LUBRICIDADE					
11.1	Lubricidade, BOCLE, máx. (20)	mm	0,85	-	-	D5001
12	ADITIVOS					
12.1	Antioxidante, máx.	mg/L	24,0	-	-	-
12.2	Desativador de metal (aditivação inicial), máx. (21)	mg/L	2,0	-	-	-
12.3	Desativador de metal (aditivação cumulativa), máx. (21)	mg/L	5,7	-	-	-
12.4	Dissipador de cargas estáticas (aditivação inicial), máx. (22)	mg/L	3	-	-	-
12.5	Dissipador de cargas estáticas (aditivação cumulativa), máx. (22)	mg/L	5	-	-	-
12.6	Inibidor de formação de gelo	% volume	0,07 a 0,15	-	-	-
12.7	Detector de vazamentos, máx. (23)	mg/kg	1	-	-	-
12.8	Melhorador de lubricidade, máx. (24)	mg/L	23	-	-	-
13	ENSAIOS COMPLEMENTARES (25)					
13.1	Teor de biodiesel, máx. (26)	mg/kg	50	-	IP 583 IP 585 IP 590 IP 599	D7797
13.2	Aditivo redutor de arrasto em dutos (DRA), máx.	µg/L	72	-	-	D7872

Tabela II - Requisitos adicionais da especificação do JET C.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	COMPOSIÇÃO					
11 11.1	Aromáticos, mín. (3)	% volume	8	14932	IP 156 (35)	D1319 (35) D8305 (37)
		% volume	8,4	-	IP 436	D6379
2	VOLATILIDADE					
21	Destilação			9619 (7)	IP 123 (7) IP 406 (8)	D86 (7) D2887 (8) D7344 (8) D7345 (8)
211	T50 menos T10, mín.	°C	15			
212	T90 menos T10, mín.	°C	40			
3	LUBRICIDADE					
31	Lubricidade, BOCLE, máx.	mm	0,85	-	-	D5001
4	FLUIDEZ					
41	Viscosidade a 40 °C negativos, máx. (27)	mm <sup>2</sup> /s	12	10441	IP 71 (12)	D445 (12) D7945

Tabela III - Requisitos adicionais da especificação do JET A e do JET A-1 formulado a partir do coprocessamento.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	ESTABILIDADE					
11	Estabilidade térmica 2,5h - mín. 280°C			-	IP 323	D3241
11.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
11.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
11.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			
2	FLUIDEZ					
21	Viscosidade a 40°C negativos, máx.	mm <sup>2</sup> /s	12,0	10441	IP 171	D445 D7945
2.2	Ésteres e ácidos graxos não convertidos, máx. (36)	mg/kg	15	-	IP 583	D7797

Tabela IV - Especificação dos querosenes de aviação alternativos SPK-FT e SPK-HEFA.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	COMPOSIÇÃO					
11	Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
2	VOLATILIDADE					
21	Destilação Física			9619 (7)	IP 123 (7)	D86 (7) D7344 D7345
211	Ponto Inicial de Ebulição (PIE)	°C	anotar			
212	10% vol. recuperados (T10), máx.	°C	205			
213	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
214	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
215	Ponto Final de Ebulição (PFE), máx.	°C	300			
216	T90 menos T10, min.	°C	22			
217	Resíduo, máx.	% volume	1,5			
218	Perda, máx. (9)	% volume	1,5			
22	Destilação Simulada			-	IP 406	D2887 (39)
221	10% vol. recuperados (T10)	°C	anotar			
222	20% vol. recuperados (T20)	°C	anotar			
223	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
224	80% vol. recuperados (T80)	°C	anotar			
225	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
226	Ponto Final de Ebulição (PFE)	°C	anotar			
23	Ponto de fulgor, mín. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523 IP 534	D56 D3828 D7236
23	Ponto de fulgor, mín. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523 IP 534	D56 D3828 D7236
24	Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	725,9 a 766,2	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052

3	FLUIDEZ					
3.1	Ponto de congelamento, máx. (11)	°C	40 negativos	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154
4	ESTABILIDADE					
4.1	Estabilidade térmica 2,5h - mín. 325°C			-	IP 323	D3241
4.1.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
4.1.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
4.1.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			
5	CONTAMINANTES					
5.1	Goma atual, máx. (17) (28)	mg/100 mL	7	14525	IP 540	D381
5.2	Teor de biodiesel, máx. (28)	mg/kg	5	-	IP 585 IP 590	-
6	ADITIVOS					
6.1	Antioxidante (29)	mg/L	17 a 24	-	-	-
7	COMPOSIÇÃO DE HIDROCARBONETOS					
7.1	Cicloparafinas, máx.	%(m/m)	15	-	-	D2425
7.2	Aromáticos, máx.	%(m/m)	0,5	-	-	D2425
7.3	Parafinas	%(m/m)	anotar	-	-	D2425
7.4	Carbono e hidrogênio, mín.	%(m/m)	99,5	-	-	D5291
8	COMPOSIÇÃO DE NAOHIDRÓCARBONETOS					
8.1	Nitrogênio, máx.	mg/kg	2	-	IP 379	D4629
8.2	Água, máx.	mg/kg	75	-	IP 438	D6304
8.3	Enxofre, máx. (30)	mg/kg	15	-	-	D2622 D5453
8.4	Metais (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn), máx. (31)	mg/kg	0,1 por metal	-	-	D7111 UOP389
8.5	Halogênios, máx.	mg/kg	1	-	-	D7359

Tabela V - Especificação do querosene de aviação alternativo SPK/A.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	COMPOSIÇÃO					
1.1	Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
1.2	Teor de aromáticos, máx.	% volume	20	-	IP 156 (35)	D1319 (35)
1.2.1		% volume	21,2	-	IP 436	D6379
2	VOLATILIDADE					
2.1	Destilação Física			9619 (7)	IP 123 (7)	D86 (7)
2.1.1	Ponto Inicial de Ebulição (PIE)	°C	anotar			
2.1.2	10% vol. recuperados (T10), máx.	°C	205			
2.1.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.1.4	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.1.5	Ponto Final de Ebulição (PFE), máx.	°C	300			
2.1.6	T90 menos T10, min.	°C	22			
2.1.7	Resíduo, máx.	% volume	1,5			
2.1.8	Perda, máx. (9)	% volume	1,5			
2.2	Destilação Simulada			-	-	D2887 (39)
2.2.1	10% vol. recuperados (T10)	°C	anotar			
2.2.2	20% vol. recuperados (T20)	°C	anotar			
2.2.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.2.4	80% vol. recuperados (T80)	°C	anotar			
2.2.5	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.2.6	Ponto Final de Ebulição (PFE)	°C	anotar			
2.3	Ponto de fulgor, min. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523 IP 534	D56 D3828 D7236
2.4	Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	751,1 a 796,5	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052
3	FLUIDEZ					
3.1	Ponto de congelamento, máx. (11)	°C	40 negativos	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154

4	ESTABILIDADE					
4.1	Estabilidade térmica 2,5h - mín. 325°C			-	IP 323	D3241
4.1.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
4.1.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
4.1.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			
5	CONTAMINANTES					
5.1	Goma atual, máx. (17)	mg/100 mL	4	14525	IP 540	D381
5.2	Índice de separação de água, MSEP, sem dissipador de cargas estáticas, mín.	-	90	-	-	D3948
6	ADITIVOS					
6.1	Antioxidante (29)	mg/L	17 a 24	-	-	-
7	COMPOSIÇÃO DE HIDROCARBONETOS					
7.1	Cicloparafinas, máx.	%(m/m)	15	-	-	D2425
7.2	Aromáticos, máx.	%(m/m)	20	-	-	D2425
7.3	Parafinas	%(m/m)	anotar	-	-	D2425
7.4	Carbono e hidrogênio, mín.	%(m/m)	99,5	-	-	D5291
8	COMPOSIÇÃO DE NAOHIDRÓCARBONETOS					
8.1	Nitrogênio, máx.	mg/kg	2	-	IP 379	D4629
8.2	Água, máx.	mg/kg	75	-	IP 438	D6304
8.3	Enxofre, máx. (30)	mg/kg	15	-	-	D2622 D5453
8.4	Metais (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn), máx.	mg/kg	0,1 por metal	-	-	D7111 UOP389
8.5	Halogênios, máx.	mg/kg	1	-	-	D7359

Tabela VI - SPK-ATJ.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	COMPOSIÇÃO					
1.1	Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
2	VOLATILIDADE					
2.1	Destilação Física			9619 (7)	IP 123 (7)	D86 (7)
2.1.1	Ponto Inicial de Ebulição (PIE)	°C	anotar			
2.1.2	10% vol. recuperados (T10), máx.	°C	205			
2.1.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.1.4	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.1.5	Ponto Final de Ebulição (PFE), máx.	°C	300			
2.1.6	T90 menos T10, min.	°C	21			
2.1.7	Resíduo, máx.	% volume	1,5			
2.1.8	Perda, máx. (9)	% volume	1,5			
2.2	Destilação Simulada			-	IP 406	D2887 (39)
2.2.1	10% vol. recuperados (T10)	°C	anotar			
2.2.2	20% vol. recuperados (T20)	°C	anotar			
2.2.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.2.4	80% vol. recuperados (T80)	°C	anotar			
2.2.5	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.2.6	Ponto Final de Ebulição (PFE)	°C	anotar			
2.3	Ponto de fulgor, min. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523 IP 534	D56 D3828 D7236
2.4	Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	725,9 a 766,2	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052
3	FLUIDEZ					
3.1	Ponto de congelamento, máx. (11)	°C	40 negativos	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154
4	ESTABILIDADE					
4.1	Estabilidade térmica 2.5h - min. 325°C			-	IP 323	D3241
4.1.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
4.1.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
4.1.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			

5	CONTAMINANTES					
5.1	Goma atual, máx. (17)	mg/100 mL	4	14525	IP 540	D381
5.2	Índice de separação de água, MSEP, sem dissipador de cargas estáticas, min.	-	90	-	-	D3948
6	ADITIVOS					
6.1	Antioxidante (29)	mg/L	17 a 24	-	-	-
7	COMPOSIÇÃO DE HIDROCARBONETOS					
7.1	Cicloparafinas, máx.	%(m/m)	15	-	-	D2425
7.2	Aromáticos, máx.	%(m/m)	0,5	-	-	D2425
7.3	Parafinas	%(m/m)	anotar	-	-	D2425
7.4	Carbono e hidrogênio, mín.	%(m/m)	99,5	-	-	D5291
8	COMPOSIÇÃO DE NÃOHIDROCARBONETOS					
8.1	Nitrogênio, máx.	mg/kg	2	-	IP 379	D4629
8.2	Água, máx.	mg/kg	75	-	IP 438	D6304
8.3	Enxofre, máx. (30)	mg/kg	15	-	-	D2622 D5453
8.4	Metais (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn), máx.	mg/kg	0,1 por metal	-	-	D7111 UOP389
8.5	Halogênios, máx.	mg/kg	1	-	-	D7359

Tabela VII - CHJ.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	COMPOSIÇÃO					
1.1	Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
2	VOLATILIDADE					
2.1	Destilação Física			9619 (7)	IP 123 (7)	D86 (7) D7345
2.1.1	Ponto Inicial de Ebulição (PIE)	°C	anotar			
2.1.2	10% vol. recuperados (T10), máx.	°C	205			
2.1.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.1.4	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.1.5	Ponto Final de Ebulição (PFE), máx.	°C	300			
2.1.6	T50 menos T10, mín.	°C	15			
2.1.7	T90 menos T10, mín.	°C	40			
2.1.8	Resíduo, máx.	% volume	1,5			
2.1.9	Perda, máx. (9)	% volume	1,5			
2.2	Destilação Simulada			-	-	D2887 (39)
2.2.1	10% vol. recuperados (T10)	°C	anotar			
2.2.2	20% vol. recuperados (T20)	°C	anotar			
2.2.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.2.4	80% vol. recuperados (T80)	°C	anotar			
2.2.5	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.2.6	Ponto Final de Ebulição (PFE)	°C	anotar			
2.3	Ponto de fulgor, mín. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523 IP 534	D56 D3828 D7236
2.4	Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	771,3 a 836,6	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052

3	FLUIDEZ					
3.1	Ponto de congelamento, máx. (11)	°C	40 negativos	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154
4	ESTABILIDADE					
4.1	Estabilidade térmica 2,5h - mín. 325°C			-	IP 323	D3241
4.1.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
4.1.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
4.1.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			
5	CONTAMINANTES					
5.1	Goma atual, máx. (17)	mg/100 mL	7	14525	IP 540	D381
5.2	Teor de biodiesel, máx.	mg/kg	5	-	IP 585 IP 590	-
6	ADITIVOS					
6.1	Antioxidante (29)	mg/L	17 a 24	-	-	-
7	COMPOSIÇÃO DE HIDROCARBONETOS					
7.1	Cicloparafinas, máx.	%(m/m)	anotar	-	-	D2425
7.2	Parafinas	%(m/m)	anotar	-	-	D2425
7.3	Aromáticos, máx. (34)	%(m/m)	8,4 a 21,2	-	IP 436	D2425 D6379
		%(v/v)	8 a 20	-	IP 156	D1319
7.4	Carbono e hidrogênio, mín.	%(m/m)	99,5	-	-	D5291
8	COMPOSIÇÃO DE NAOHIDRÓCARBONETOS					
8.1	Nitrogênio, máx.	mg/kg	2	-	IP 379	D4629
8.2	Água, máx.	mg/kg	75	-	IP 438	D6304
8.3	Enxofre, máx.	mg/kg	15	-	-	D2622 D5453
8.4	Metais (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn), máx.	mg/kg	0,1 por metal	-	-	D7111 UOP389
8.5	Halogênios, máx.	mg/kg	1	-	-	D7359

Tabela VII - SPK-HC-HEFA.

	CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
				ABNT NBR	EI	ASTM
1	COMPOSIÇÃO					
1.1	Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	-	IP 354	D3242
2	VOLATILIDADE					
2.1	Destilação Física			9619 (7)	IP 123 (7)	D86 (7)
2.1.1	Ponto Inicial de Ebulição (PIE)	°C	anotar			
2.1.2	10% vol. recuperados (T10), máx.	°C	205			
2.1.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.1.4	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.1.5	Ponto Final de Ebulição (PFE), máx.	°C	300			
2.1.6	T90 menos T10, min.	°C	22			
2.1.7	Resíduo, máx.	% volume	1,5			
2.1.8	Perda, máx. (9)	% volume	1,5			
2.2	Destilação Simulada			-	-	D2887 (39)
2.2.1	10% vol. recuperados (T10)	°C	anotar			
2.2.2	20% vol. recuperados (T20)	°C	anotar			
2.2.3	50% vol. recuperados (T50)	°C	anotar			
2.2.4	80% vol. recuperados (T80)	°C	anotar			
2.2.5	90% vol. recuperados (T90)	°C	anotar			
2.2.6	Ponto Final de Ebulição (PFE)	°C	anotar			
2.3	Ponto de fulgor, min. (10)	°C	38	7974	IP 170 IP 523 IP 534	D56 D3828 D7236
2.4	Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	725,9 a 796,5	7148 14065	IP 160 IP 365	D1298 D4052
3	FLUIDEZ					
3.1	Ponto de congelamento, máx. (11)	°C	40 negativos	7975	IP 16 IP 435 IP 529 IP 528	D2386 D5972 D7153 D7154
4	ESTABILIDADE					
4.1	Estabilidade térmica 2,5h - min. 325°C			-	IP 323	D3241
4.1.1	queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25			
4.1.2	depósito no tubo - método visual (14) (15)	-	menor que 3 (sem depósito de cor anormal ou de pavão)			
4.1.3	depósito no tubo - método instrumental, máx. (14) (16)	-	85			

5	CONTAMINANTES					
5.1	Goma atual, máx. (17)	mg/100 mL	7	14525	IP 540	D381
5.2	Teor de biodiesel, máx.	mg/kg	5	-	IP 585 IP 590	-
6	ADITIVOS					
6.1	Antioxidante (29)	mg/L	17 a 24	-	-	-
7	COMPOSIÇÃO DE HIDROCARBONETOS					
7.1	Cicloparafinas, máx.	%(m/m)	50	-	-	D2425
7.2	Aromáticos, máx.	%(m/m)	0,5	-	-	D2425
7.3	Parafinas	%(m/m)	anotar	-	-	D2425
7.4	Carbono e hidrogênio, mín.	%(m/m)	99,5	-	-	D5291
8	COMPOSIÇÃO DE NAOHIDRÓCARBONETOS					
8.1	Nitrogênio, máx.	mg/kg	2	-	IP 379	D4629
8.2	Água, máx.	mg/kg	75	-	IP 438	D6304
8.3	Enxofre, máx. (30)	mg/kg	15	-	-	D5453 D2622
8.4	Metais (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn), máx.	mg/kg	0,1 por metal	-	-	D7111 UOP389
8.5	Halogênios, máx.	mg/kg	1	-	-	D7359

Fonte: DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO: **Resolução ANP N° 856, de 22 de outubro de 2021.**

Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-856-de-22-de-outubro-de-2021-354349404>. Acessado em: 16/07/2023.