



## **PROGRAMA EQ-ANP**

**Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria  
do Petróleo e Gás Natural**



# **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Bioquerosene como Combustível de Aviação**

**Lívia Caldas Alencar**

## **Projeto de Final de Curso**

**Orientador(es)**

**Maria Letícia Murta Valle, D.Sc.**

**Estevão Freire, D.Sc.**

**Agosto de 2014**

# ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE BIOQUEROSENE COMO COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO

*Livia Caldas Alencar*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente do Programa Escola de Química/Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria de Petróleo e Gás Natural, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de engenharia química com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural – Biocombustíveis.

Aprovado por:

---

Élcio Ribeiro Borges, D.Sc.

---

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

---

Rôsângela da Silva Leonardo, M.Sc.

Orientado por:

---

Maria Letícia Murta Valle, D.Sc.

---

Estevão Freire, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 2014

Alencar, Livia Caldas.

Estudo da viabilidade técnica da utilização de bioquerosene como combustível de aviação/ Livia Caldas Alencar. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014.

xiv, 68 p.; il.

(Projeto Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014. Orientadores: Maria Leticia Murta Valle e Estevão Freire.

1. Renewable jet fuel. 2. Bio jet fuel 3. Biokerosene 4. Bio-kerosene. 5. Projeto Final de Curso. (Graduação – UFRJ/EQ). 6. Maria Leticia Murta Valle e Estevão Freire I. Título.

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Lúcio e Verônica,  
ao meu irmão Luiz Alberto e a todos que acreditaram em mim.

“Tudo parece impossível até que seja feito.”

(Nelson Mandela)

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus e a todos que de alguma forma me intuíram nesta jornada.

A minha família pelo apoio, compreensão e carinho em todos os momentos que precisei e os que não precisei. Ao meu namorado Bruno Rangel Pacheco, que me deu suporte e sempre esteve ao meu lado me mantendo sempre focada.

Aos meus colegas de turma que me apoiaram e estiveram comigo ao longo da graduação e também ao senhor Marcelo Gonçalves que sempre esteve disponível me auxiliando quando precisei.

Ao apoio financeiro da **Agência Nacional do Petróleo – ANP** – e da **Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP** – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao **PRH 13**, da Escola de Química - Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Química com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural – Biocombustível.

## **ESTUDOS DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO BIOQUEROSENE COMO COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO**

Lívia Caldas Alencar  
Agosto, 2014

Orientadores: Profa. Maria Leticia Murta Valle (DPO/EQ), D.Sc.  
Prof. Estevão Freire (DPO/EQ), D.Sc.

Nome do Grau: Engenheira Química

Nome da Ênfase: Biocombustível

### ***RESUMO***

A busca por novos processos alternativos na obtenção de energia estão cada vez mais em evidência com a atual perspectiva das reservas de petróleo. A indústria da aviação também busca novas fontes energéticas aplicando-se o conceito de biocombustíveis *drop-in*, os quais são combustíveis que misturados em até 50% aos combustíveis de origem petrolífera são capazes de apresentar as características mínimas necessárias do combustível convencional para aviação. O objetivo do presente trabalho foi analisar a viabilidade técnica do bioquerosene realizando a prospecção tecnológica e aplicando-se o conceito de bioquerosene dado pela Resolução ANP N°20 de 24.06.2013. A metodologia do trabalho foi construída a partir da pesquisa em bases científica, de artigos e patentes, e divididos para as análises macro, meso e micro por meio de gráficos e tabelas. Os resultados mostraram que a quantidade de artigos e patentes ainda é reduzida, face à inovação do tema e a viabilidade técnica na produção do bioquerosene já é uma realidade, mas existem desafios. O país que mais pesquisa o assunto é o EUA e o processo mais estudado é o Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos .

Abstract of a Final Project presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Chemical Engineering with emphasis on Petroleum and Natural Gas – Biofuel.

**STUDIES OF TECHNICAL FEASIBILITY OF USING THE BIOKEROSENE AS  
AVIATION FUEL**

Alencar, Lívia Caldas  
August, 2014

Supervisors: Profa. Maria Leticia Murta Valle (DPO/EQ), D.Sc.  
Prof. Estevão Freire (DPO/EQ), D.Sc.

Nome do Grau: Engenharia Química

Nome da Ênfase: Biofuel

***ABSTRACT***

The searches for new processes alternatives for energy production are increasingly emphasized in the current reduction of oil reserves. The aviation industry also seeks new energy sources by applying the concept of biofuels drop-in, which are fuel mixed up to 50% of fuels from petroleum and are able to present minimum characteristics required of conventional fuel for aviation. The aim of this present work was to examine the technical feasibility of biokerosene performing technological forecasting and applying the concept of biokerosene given by Resolution ANP N°20 of 06.24.2013. The methodology of the work was constructed from the search in databases, scientific articles and patents, and organized for the analyzes macro, meso and micro through charts and graphs. The results showed that the amount of articles and patents is small, since the theme is recent and the technical feasibility of using biokerosene is real, although some challenges exist. The country that more researches the subject is USA and the process most often used is the Hydroprocessing of Esters and Fatty Acids .

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
3.1 PANORAMA DA AVIAÇÃO .....	5
3.2 MOTORES A REAÇÃO .....	11
3.3 COMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO .....	16
3.4 BIOCMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO .....	21
3.5 PROCESSOS DESENVOLVIDOS .....	29
3.6 INICIATIVAS DO USO DE BIOCMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO .....	33
3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA .....	35
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
5.1 RESULTADOS DAS BASES .....	42
5.2 ANÁLISE DOS ARTIGOS .....	43
5.2.1 ANÁLISE MACRO .....	43
5.2.2 ANÁLISE MESO .....	48
5.2.3 ANÁLISE MICRO .....	49
5.3 ANÁLISE DAS PATENTES .....	51
5.3.1 ANÁLISE MACRO .....	51
5.3.2 ANÁLISE MESO .....	53
5.3.3 ANÁLISE MICRO .....	53
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO A – PLANTAS DE BIOCMBUSTÍVEIS DE SEGUNDA GERAÇÃO.....</b>	<b>61</b>

<b>ANEXO B – ARTICULOS SELECCIONADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO C – PATENTES SELECCIONADAS .....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - Crescimento do setor aéreo em 40 anos e as adversidades .....	5
FIGURA 2 - Evolução do setor aéreo 1972-2032 e sua perspectiva em termos de RPK ....	6
FIGURA 3 - Países de economias desenvolvidas e emergentes .....	7
FIGURA 4 - Perspectiva do crescimento da aviação no mundo entre 2012-2032.....	7
FIGURA 5 - Crescimento do número de passageiros na última década no Brasil .....	8
FIGURA 6 - Evolução dos voos doméstico e internacional do Brasil no período 2003-2012 .....	9
FIGURA 7 - Evolução do número de passageiros, em milhões, no Brasil até 2020.....	9
FIGURA 8 - Consumo e produção de combustível de aviação .....	11
FIGURA 9 - Sustentação do avião no ar .....	12
FIGURA 10 - As quatro fases do motor a reação .....	13
FIGURA 11 - Câmara de combustão .....	14
FIGURA 12 - Modelo de um motor turbo-fan .....	16
FIGURA 13 - Processo simplificado de certificação ASTM D4054 .....	23
FIGURA 14 - Certificação de combustíveis alternativos .....	23
FIGURA 15 - Divisão do uso das terras brasileiras e matérias-primas com potencial para biocombustíveis .....	25
FIGURA 16 - Distribuição de plantas de segunda geração por países .....	26
FIGURA 17 - Distribuição do número de plantas de segunda geração por ano .....	27
FIGURA 18 - Desenvolvimento do consumo do bioquerosene em 28 anos .....	28
FIGURA 19 - Distribuição de biomassas no mundo .....	28
FIGURA 20 - Rotas tecnológicas para a produção de biocombustíveis para aviação .....	29
FIGURA 21 - Processos de obtenção do biodiesel e bioquerosene .....	30
FIGURA 22 – Simplificação da produção de SPK por Fischer-Tropsch .....	31
FIGURA 23 - Simplificação da produção do SPK por hidrocessamento .....	31
FIGURA 24 - Saldo de CO <sub>2</sub> dos combustíveis convencionais e os renováveis .....	32
FIGURA 25 - Número de publicações de biocombustíveis para aviação por ano .....	33
FIGURA 26 - Projeção do preço do combustível convencional de aviação nos EUA .....	35
FIGURA 27 - Custo de produção do biocombustível para aviação .....	36
FIGURA 28 - Método de pesquisa de artigos .....	40
FIGURA 29 - Método de pesquisa de patentes .....	40
FIGURA 30 - Método de elaboração de artigos no excel .....	41
FIGURA 31 - Método de elaboração de patentes no excel .....	41
FIGURA 32 - Número de artigos publicados por ano .....	44

FIGURA 33 - Porcentagem de artigos publicados por revistas .....	44
FIGURA 34 - Porcentagem de artigos publicados por países .....	46
FIGURA 35 - Porcentagem de publicantes de artigos por setor .....	48
FIGURA 36 - Porcentagem das áreas abordadas nos artigos .....	49
FIGURA 37 - Porcentagem de processo citados nos artigos .....	50
FIGURA 38 - Número de patentes depositadas por ano .....	51
FIGURA 39 - Porcentagem de países no depósito de patentes .....	52
FIGURA 40 - Porcentagem de patentes por tipo de depositante .....	53
FIGURA 41 - Porcentagem de processos desenvolvidos nas patentes .....	54

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - Emissões das espécies do querosene, índice de emissão (massa de emissão da espécie por unidade de massa de combustível queimado referente ao ano 2000) total devido a aviação .....	10
TABELA 2 - Composição do querosene de aviação .....	18
TABELA 3 – Especificações do querosene de aviação (QAV-1 ou JET-A1) .....	19
TABELA 4 - Características na ANP do F-T SPK e HEFA SPK .....	22
TABELA 5 – Comparação entre o querosene e o bioquerosene .....	27
TABELA 6 - Características do biodiesel e bioquerosene dos óleos de coco e palma .....	30
TABELA 7 - Propriedades do combustível convencional e dos biocombustíveis de aviação .....	32
TABELA 8 - Voos realizados com biocombustíveis em aeronaves .....	34
TABELA 9 - Preço estimado dos combustíveis alternativos derivados de diferentes matérias-primas e processos .....	37
TABELA 10 - Preço dos biocombustíveis feito pelo Departamento de Defesa dos EUA de 2007-2012 .....	37
TABELA 11 - Dados das bases de pesquisa de artigos .....	42
TABELA 12 - Dados das bases de pesquisa de patentes .....	43
TABELA 13 - Distribuição de artigos publicados por revistas .....	45
TABELA 14 - Distribuição de países por número de artigos publicados .....	47
TABELA 15 - Número de artigos por setor .....	47
TABELA 16 - Número de publicações por área abordada nos artigos .....	49
TABELA 17 - Número de artigos por processo citados .....	50
TABELA 18 - Distribuição de patentes por países .....	52
TABELA 19 - Número de patentes por tipo de depositante .....	52
TABELA 20 - Número de patentes por tipo de processo .....	54

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABEAR – Associação Brasileira das Empresas Aéreas

ABPPM – Associação Brasileira dos Produtores de Pinhão-Manso

AFQRJOS - Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems

ANAC – Agência Nacional da Aviação de Civil

ANP – Agência Nacional do Petróleo, gás natural e biocombustíveis

ASK – Available Seat Kilometers

ASTM – American Society for Testing and Materials

ASTM D1655 – Standard Specification for Aviation Turbines Fuels

ATJ-SPK – Álcool para Combustíveis de Aviação-Querosene Parafínico Sintético

BtL – Biomassa para Líquido

CH – Hidrotermólise Catalítica

CtL – Carvão para Líquido

Def-Stan 91-91 – Deference Standart 91-91, turbine fuels, aviation Kerosene type, Jet A-1, Nato Code: F-35, joint Service AFTUR

DSHC – Fermentação Direta de Açúcares para Hidrocarbonetos

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAA - Federal Aviation Administration

FAME – Fatty Acid Methyl Ester

FFP – Fit For Purpose

FT - Fischer Tropsch

FT-SPK – Fischer Tropsch-Querosene Parafínico Sintético

FT-SPKA - Fischer Tropsch-Querosene Parafínico Sintético com Aromáticos

GEE – Gases do Efeito Estufa

GtL – Gás para Líquido

HDCJ – Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustíveis de aviação

HEFA – Éster e Ácido Graxo Hidroprocessado

HEFA-SPK – Éster e Ácido Graxo Hidroprocessado-Querosene Parafínico Sintético

HRJ – Hydroprocessed Renewable Jet Fuel

IATA - International Air Transport Association

IATA RAF – IATA Report on Alternative Fuels

ICAO – International Civil Aviation Organization

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

ISCC – International Sustainability & Carbon Certification

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PVBAB – Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil

RBS – Roundtable on Sustainable

RPK – Revenue Passenger Kilometers

SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes

USA- United States of America

## ***1. INTRODUÇÃO***

A preocupação com o meio ambiente e a necessidade de se descobrir fontes alternativas de energia se faz cada vez mais presente na sociedade. Um exemplo dessa situação é o setor da aviação que apresentou, segundo a Airbus, um crescimento de 61% na última década, mesmo com as crises mundiais. Isso se deve, entre outros fatores, ao crescimento econômico dos países emergentes, desenvolvimento tecnológico e crescimento populacional (Airbus-GMF, 2013).

O tipo de motor a reação mais usado, especialmente na aviação comercial, é o tubo-fan e o combustível mais usado, atualmente, é o querosene. Existem vários tipos de querosene, mas o produzido e utilizado no Brasil é o QAV-1, posto que é o combustível com as características necessárias que garantem a vida útil do motor, descritas pela resolução da ANP N° 37, de 1º.12.2009.

O fato do querosene ser um derivado petroquímico e as suas emissões causarem danos ambientais gerou a necessidade da indústria da aviação apresentar como meta a redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 50% até 2050 e, por isso, a necessidade da busca por combustíveis alternativos aos quais se aplicam o conceito de sustentabilidade. A partir disso, os chamados biocombustíveis “*drop-in*” começaram a ser desenvolvidos, adotando como referências normas da ASTM (American Society for Testing and Materials) para os combustíveis alternativos. Quando esses combustíveis são misturados em até 50% aos combustíveis de origem petrolífera são capazes de apresentar as características mínimas necessárias do combustível convencional para aviação, sem que seja necessária a modificação da estrutura do motor ou do avião (PVBAB, 2013).

Dessa forma o Brasil tem potencial para o desenvolvimento de biocombustíveis para aviação. No que diz respeito às matérias-primas é um país com vasto território e utiliza apenas 7% dessa área para a agricultura, além disso, já possui experiências na produção de outros tipos de biocombustíveis como o etanol e o biodiesel (PVBAB, 2013). Cabe ressaltar que as matérias-primas utilizadas para a produção do bioquerosene e do biodiesel são as mesmas, diferenciando apenas as rotas de conversão para obtenção do produto final.

Pesquisas referentes ao assunto identificaram algumas rotas para a produção desses biocombustíveis, entre eles Hidrotermólise Catalítica (CH), Fermentação de Açúcares para Hidrocarbonetos (DSHC), Fischer-Tropsch (FT) e Ésteres de Ácidos Graxos Hidroprocessados (HEFA). Apesar de diferentes tecnologias já terem sido desenvolvidas, apenas as rotas de HEFA e FT foram aprovadas pelas normas ASTM D4054 e ASTM D7556, com as restantes em processos de análise (PVBAB,2013). As especificações brasileiras para a produção de combustíveis alternativos para aviação estão alinhados com as normas internacionais da ASTM e podem ser encontradas na Resolução ANP N° 20 de 26.06.2013.

Algumas empresas como a Airbus, Rolls Royce, Shell, Embraer, Gol e Tam já realizaram voos experimentais com biocombustíveis misturados ao combustível convencional. Contudo, apesar da viabilidade técnica, a dúvida é quanto a sua viabilidade econômica ainda não está definida, pois os combustíveis tradicionais de aviação apresentam custos mais baixos em relação aos biocombustíveis, mas existem projeções de que esse quadro sofra uma inversão (IATA RAF, 2013). Outros desafios são relativos a implementação comercial desses combustíveis, como por exemplo maiores investimentos em P&D tanto de setores privados como governamentais, estabelecimento de legislações mais específicas para a sua produção e consumo, diferenciar de forma mais clara a definição do bioquerosene dos outros tipos de biocombustíveis para aviação.

A escolha desse tema para a realização do trabalho foi para iniciar pesquisas sobre um assunto que ainda é recente e realizar um panorama mundial sobre o tópico. Além disso é um tema relevante para a indústria do petróleo, já que a busca por combustíveis alternativos que sejam ambientalmente corretos fazem parte da realidade desse setor. O assunto tem relevância, pois estudos mostram que esses biocombustíveis são capazes de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, sem alterar a eficiência do motor.

O conhecimento pelo monitoramento e análise da prospecção tecnológica por meio da identificação dos desenvolvimentos tecnológicos e científicos capazes de influenciar uma indústria, economia ou sociedade (Kupfer D., Tigre P., 2004), com o auxílio de planilhas do *excel* sobre o tema bioquerosene é importante para que se possa entender o que existe de concreto sobre o assunto, como as tecnologias, processos, países, empresas envolvidas e tendências mercadológicas e o que ainda precisa ser melhorado.

O trabalho está dividido nos seguintes capítulos: no capítulo 2 são apresentados os objetivos desse trabalho sendo eles os objetivos gerais e os específicos. No capítulo 3 é feito uma revisão bibliográfica sobre a indústria da aviação, os tipos de motores e combustíveis usados, o que são os novos biocombustíveis que estão surgindo, principalmente o bioquerosene, em relação ao tipo de biomassa, os processos, normas e a sua viabilidade econômica. No capítulo 4 é apresentada a metodologia usada para elaborar o presente trabalho como as bases usadas, a seleção dos artigos e patentes e como eles foram organizados. No capítulo 5 foram elaborados os resultados e discussão a partir de artigos e patentes, divididos em análises macro, meso e micro. No capítulo 6 são feitas as conclusões desse trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica dos combustíveis alternativos para aviação, mais especificamente, sobre o bioquerosene, utilizando os dados obtidos de diferentes bases de pesquisas de artigos e patentes, existentes até a presente data.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são descritos a seguir:

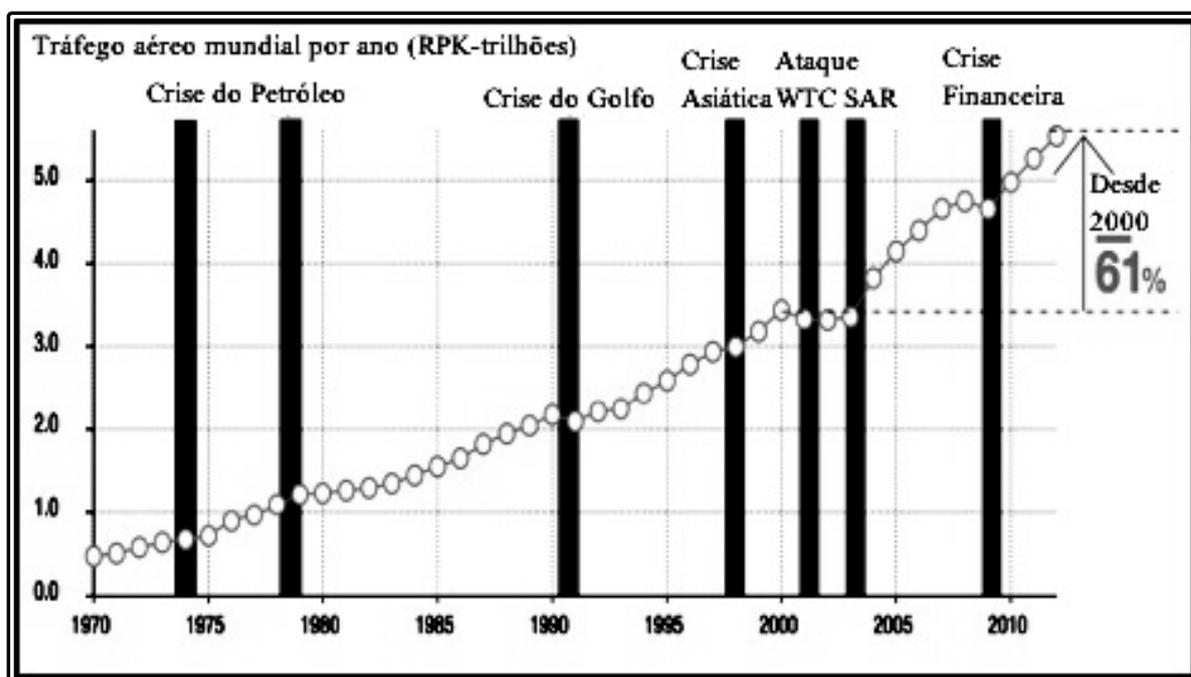
- Aquisição de conhecimento na área de biocombustíveis para aviação.
- Aprendizado na utilização das ferramentas de pesquisa para artigos, como o *Science Direct*, *Scielo* e *Web of Science*, e as ferramentas de pesquisa para patentes, como *Espacenet Patent Search*, *Patentscopee USPTO*;
- Prospecção tecnológica, pelo uso de planilhas do *excel*, dos artigos e patentes divididos em análises macro, meso e micro sobre quais os setores envolvidos, quais os países e os anos de publicação das pesquisas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Panorama da aviação

Os últimos 40 anos foram de grande desenvolvimento da indústria da aviação, apesar da crise do petróleo na década de 70, a crise asiática na década de 90 e, mais recentemente, a crise financeira mundial, como mostrado na Figura 1. De acordo com ela, o crescimento do setor representou 61% em um intervalo de 13 anos (2000-2013). Essa realidade se deve aos seguintes fatores (Airbus-GMF,2013):

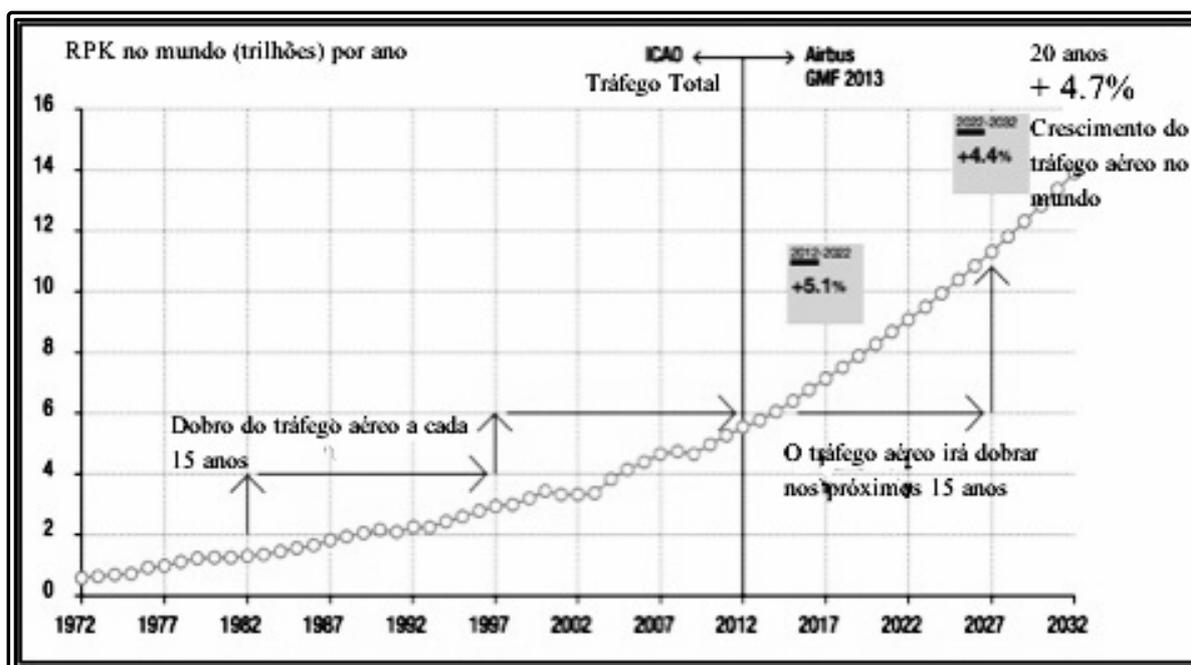
- Crescimento populacional, em especial o crescimento urbano.
- Crescimento econômico, principalmente das economias emergentes.
- Aumento da segurança no voo pelo desenvolvimento de tecnologia de ponta.
- Crescimento do turismo mundial.
- Otimização dos meios de comunicação.
- Competição entre as empresas desse setor.



(Fonte: Airbus-GMF,2013)

Figura 1: Crescimento do setor aéreo em 40 anos e as adversidades.

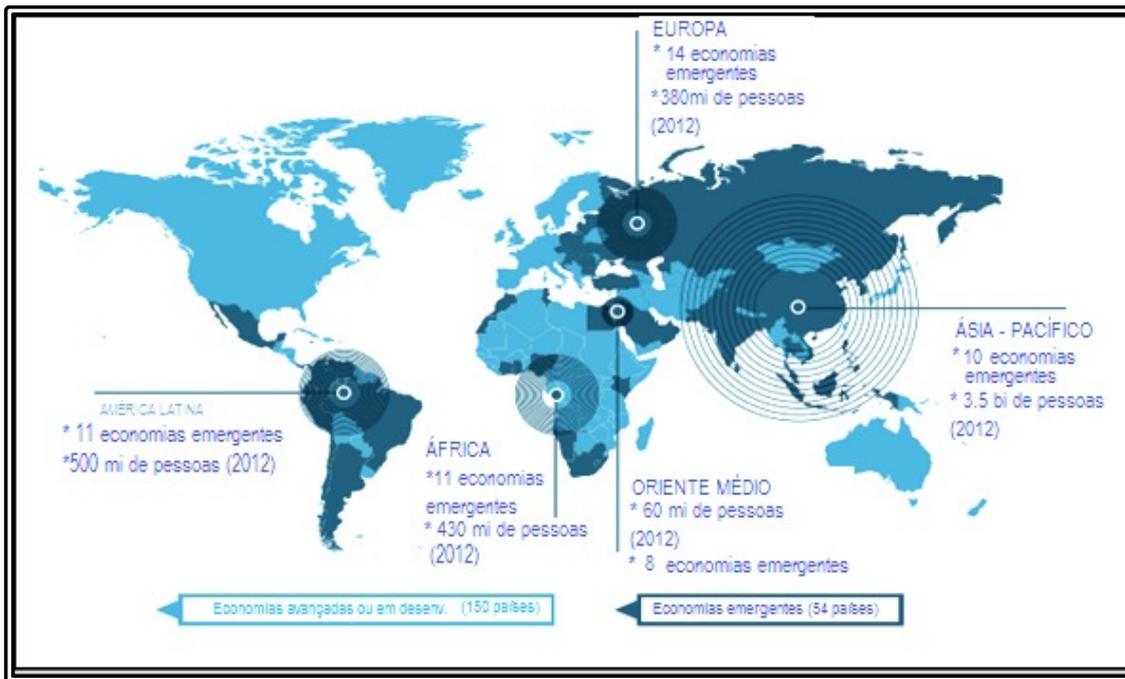
A projeção para o setor da aviação é promissora. De acordo com o relatório de 2013 da Airbus, a expectativa é que nos próximos 15 anos (2012-2027), o tráfego aéreo mundial tenha um aumento de 100% em relação ao mesmo intervalo de tempo anterior (1997-2012), conforme mostrado na Figura 2 (Airbus-GMF, 2013). A explicação para isso está nos países emergentes, representados na Figura 3, que apresentará um desenvolvimento na economia relativamente maior quando comparada à economia dos demais países desenvolvidos (Market Outlook, 2012).



(Fonte: Airbus-GMF,2013)

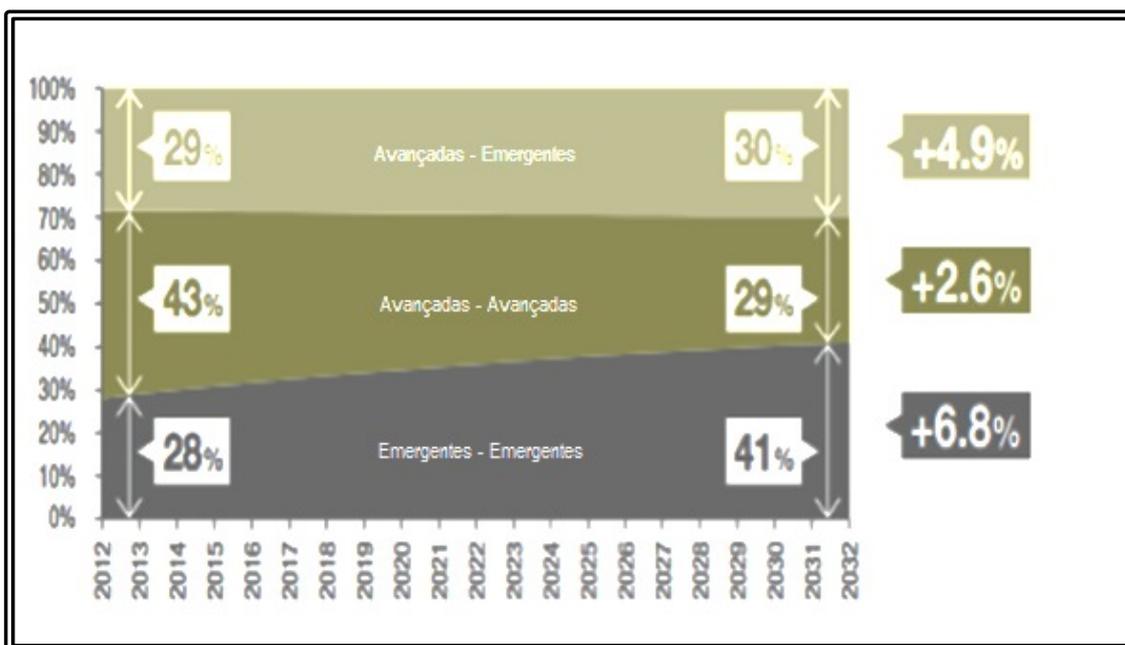
Figura 2: Evolução do setor aéreo 1972-2032 e sua perspectiva em termos de RPK.

O crescimento econômico dos países emergentes, principalmente, ao longo dessa última década, aumentou a demanda no setor da aviação. Essas regiões onde, geralmente, a densidade demográfica é elevada, hoje apresenta uma taxa de crescimento em viagens aéreas, seja por motivos turísticos ou de negócios, superior a das regiões já desenvolvidas. Nos próximos 20 anos (2012-2032), espera-se um aumento do tráfego aéreo dos países emergentes de 6,8% ao ano, enquanto que nas economias já consolidadas, o crescimento se encontra em 2,6% ao ano, conforme mostrado na Figura 4 (Airbus-GMF, 2013).



(Fonte: Airbus-GMF,2013)

Figura 3: Países de economias desenvolvidas e emergentes.



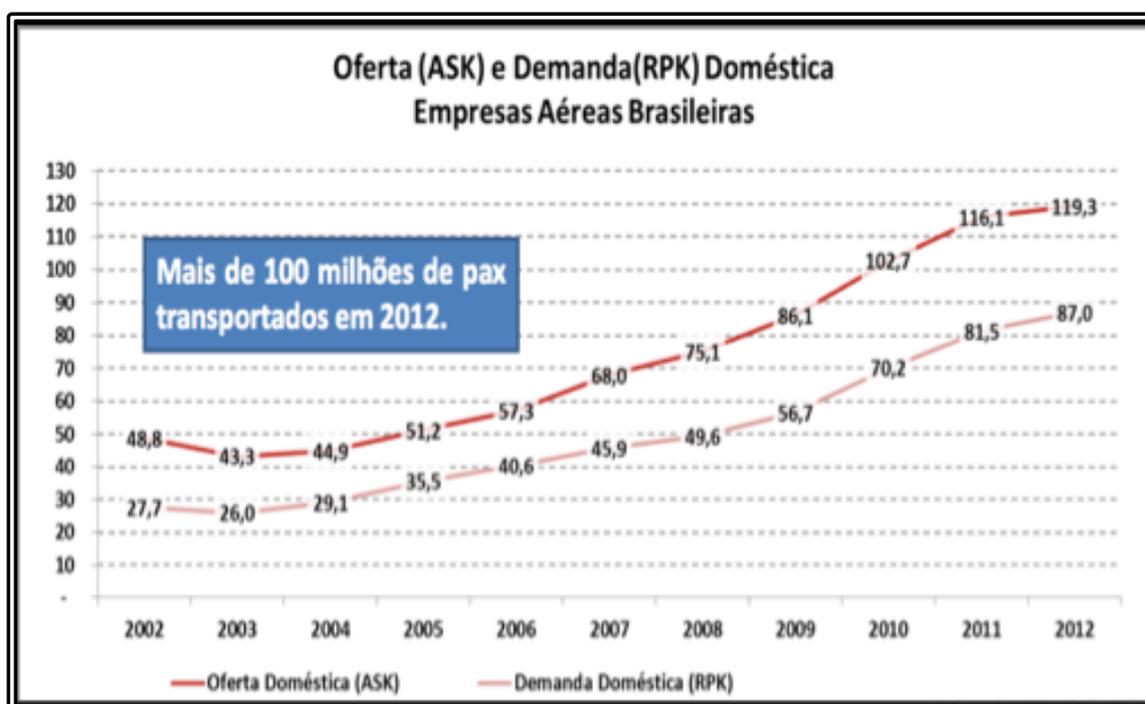
(Fonte: Airbus-GMF,2013)

Figura 4: Perspectiva do crescimento da aviação no mundo entre 2012-2032.

Na última década (2003-2012), a economia brasileira teve um crescimento de 3,85% ao ano e o crescimento populacional foi de 1% ao ano. O desenvolvimento brasileiro teve como consequência o aumento do tráfego aéreo. A demanda doméstica nesta última década cresceu 234% em relação a anterior, a um crescimento médio anual de 14,35%. Nesse mesmo período, voos com origem ou destino no Brasil aumentaram 128% a 9,59% de

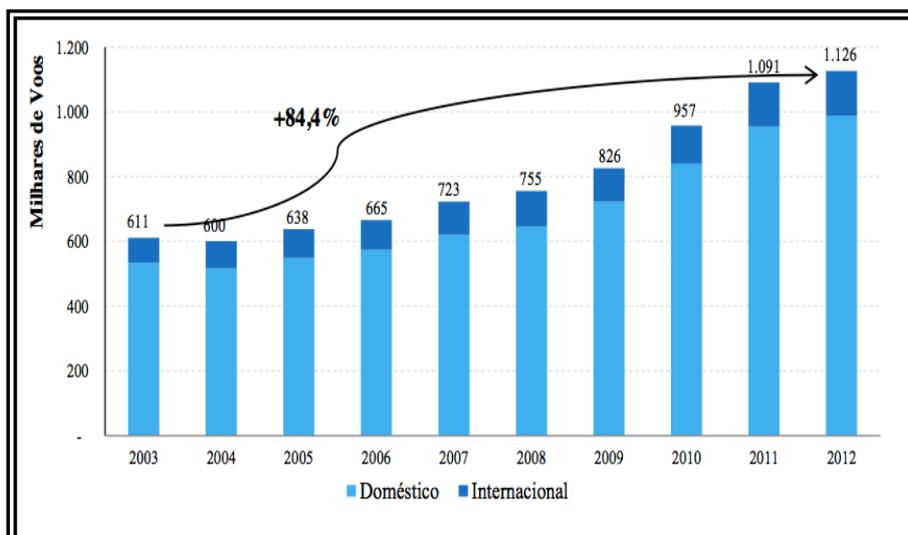
crescimento médio ao ano. Em suma, esse crescimento da aviação brasileira representou mais de 3,5 vezes o PIB e mais de 14 vezes o crescimento populacional (Anuário do Transporte Aéreo, ANAC 2012).

A aviação brasileira transportou mais de 100 milhões de passageiros pagos em 2012, isso significa que, de cada 100 habitantes no Brasil, 55 utilizaram o transporte aéreo, seja para voos domésticos ou internacionais. Para uma comparação, em relação ano de 2003, o número de passageiros transportados foi de 37,2 milhões, o que significa que de cada 100 habitantes, 21 utilizaram esse meio de transporte. Em relação ao transporte de cargas, o crescimento médio dessa década foi de 4,6% ao ano (Anuário do Transporte Aéreo, ANAC 2012). As Figuras 5 e 6 mostram essa evolução.



(Fonte: ANAC, 2012)

Figura 5: Crescimento do número de passageiros na última década no Brasil.

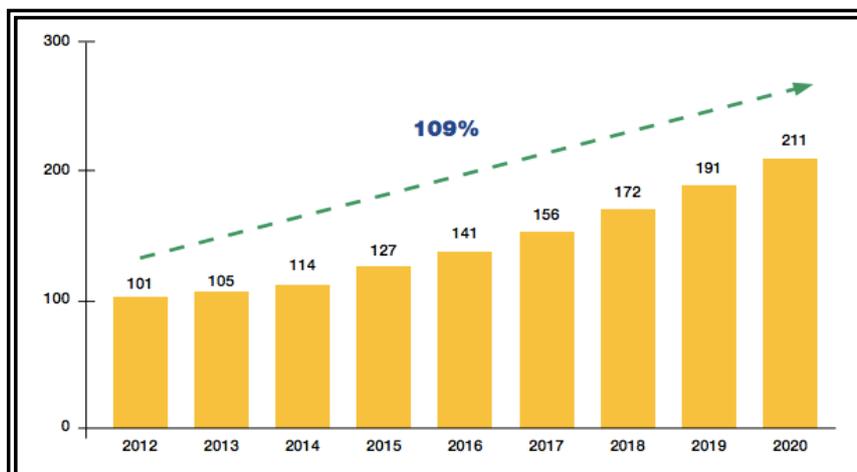


(Fonte: Anuário do Transporte Aéreo ANAC,2012)

Figura 6: Evolução dos voos doméstico e internacional do Brasil no período 2003-2012.

Com relação à projeção dessa indústria, no documento publicado pela *International Air Transport Association* (IATA), o Brasil pode chegar a ser o terceiro maior mercado de transportes aéreos do mundo, com um número de passageiros de 122,4 milhões, perdendo apenas para a China e os Estados Unidos da América (Projeções do Setor Aéreo 2013-2017).

As perspectivas para 2020, de acordo com a ABEAR (Associação Brasileira das Empresas Aéreas), o transporte de passageiros em milhões, mostrado na Figura 7, vai crescer 109%, o de carga 58% e, esse setor industrial vai gerar 660 mil novos empregos (Aviação Brasileira Agenda 2020, 2012).



(Fonte: ABEAR, 2012)

Figura 7: Evolução do número de passageiros, em milhões, no Brasil até 2020.

O aumento dos problemas ambientais, ocasionados pelas ações humanas, e as discussões em torno deles, fizeram com que as atenções e as preocupações para solucioná-las aumentassem, consideravelmente.

Na indústria da aviação os principais poluentes emitidos são CO<sub>2</sub> seguidos de dióxido de nitrogênio, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e fuligem. O estudo do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) realizado em 1999, “Aviation and the global atmosphere”, apontou que a aviação era responsável, em 1992, por cerca de 2% das emissões totais de CO<sub>2</sub> para atmosfera e que, em 2050, essa emissão é estimada em 3%. Esse problema fez com que o setor estabelecesse uma meta de reduzir em 50% as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) até 2050 em relação as emissões feitas em 2005.

A Tabela 1 mostra as composições do querosene e as suas emissões para a atmosfera de CO<sub>2</sub> (3160 g kg<sup>-1</sup>, para uma combustão completa), de CO e outros hidrocarbonetos, com as suas respectivas variações.

Tabela 1: Emissões das espécies do querosene, índice de emissão (massa de emissão da espécie por unidade de massa de combustível queimado referente ao ano 2000) total devido a aviação

<b>Espécie</b>	<b>Índice de emissão, g kg<sup>-1</sup> (variações)</b>	<b>Taxa de emissão (2004), (Tg ano<sup>-1</sup>)<sup>a</sup></b>
CO <sub>2</sub>	3160	700
H <sub>2</sub> O	1240	275
NO <sub>x</sub>	14 (12-17)	3
Fuligem	0.025 (0.01-0.05)	0.006
SO <sub>2</sub>	0.8 (0.6-1.0)	0.18
CO	3 (2-3)	0.67
Hidrocarbonetos	0.4 (0.1-0.6)	0.09

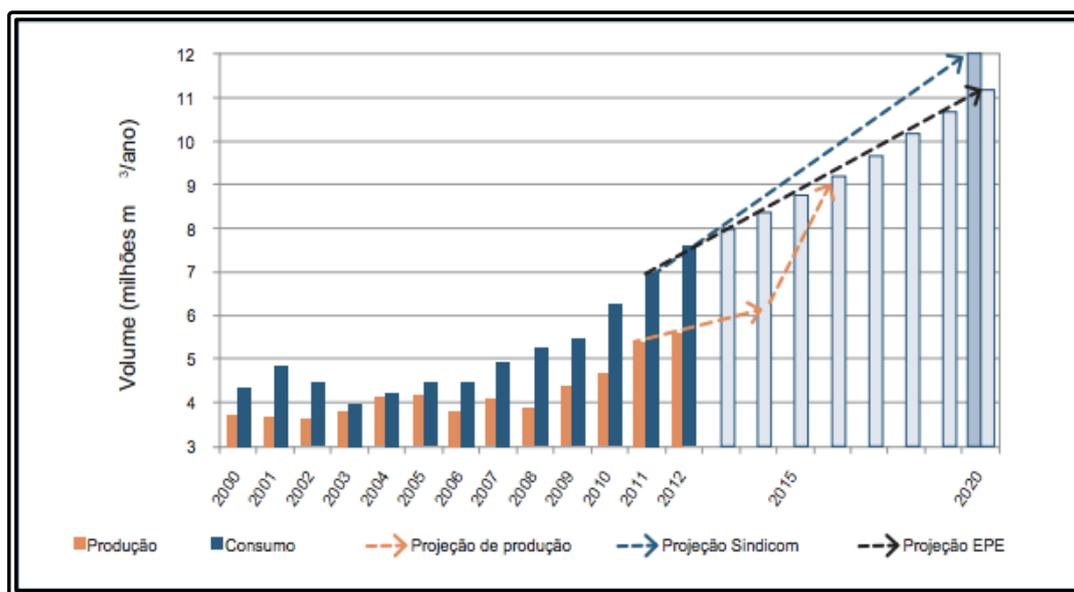
<sup>a</sup> Teragrama por ano.

(Fonte : Adaptado de Lee et al.,2010)

A demanda energética da aviação, ainda é dependente de derivados petrolíferos. O consumo de combustível de aviação no mundo é, aproximadamente, 250 milhões de metros cúbicos por ano, em torno de 6% da produção das refinarias de petróleo, dois terços provenientes dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). No Brasil, em 2011, essa demanda foi de 7 milhões de metros cúbicos, o que

representa 2,8% da demanda global, dos quais 75% foram produzidos no país, os outros 25% foram importados de vários países (PVBAB, 2013).

A Figura 8 mostra os últimos 12 anos e a projeção para 2020 do consumo de combustível para aviação no Brasil. Essas projeções foram realizadas Sindicom, a qual retrata que esse consumo deve alcançar 12 milhões de metros cúbicos, e a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), que mostra que esse consumo será de 11 milhões de metros cúbicos (PVBAB, 2013).



(Fonte: PVBAB, 2013)

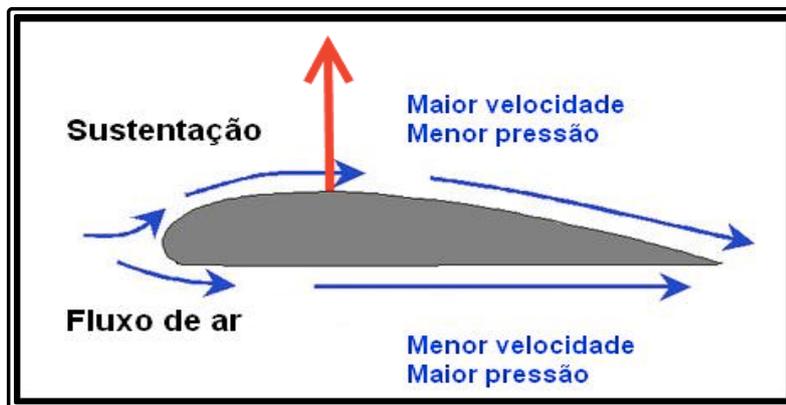
Figura 8: Consumo e produção de combustível de aviação.

### 3.2 Motores a reação

O motor a reação é o mais utilizado na aviação, atualmente e seu nome é explicado por ele acelerar grande quantidade de ar no sentido oposto ao movimento. Como reação, pela terceira Lei de Newton, uma força no sentido do movimento é gerada, a força propulsiva (Anderson, 2010).

A força de arrasto, gerada devido ao atrito do ar com a aeronave durante um voo, é compensada pela força propulsiva dos motores. A intenção é sempre de diminuir a força de arrasto na aeronave e os projetos cada vez mais investem em modificações aerodinâmicas nesse sentido, visando diminuir o consumo de combustível.

Para compensar a força peso e sustentar o avião em voo, o fluxo de ar que escoar nas asas do avião faz com que dois campos de pressão e velocidade surjam: uma zona de maior pressão e menor velocidade localizada sob a asa (intradorso) e a de menor pressão e maior velocidade sobre a asa (extradorso). Esse comportamento existe devido à maior curvatura no extradorso da asa, causando uma aproximação das linhas de corrente do fluxo de ar e consequente, aumento da velocidade e redução da pressão. Essa diferença de pressões gera a força de sustentação da aeronave e faz com que esta permaneça em voo, como mostrado na Figura 9 (Anderson, 2010).

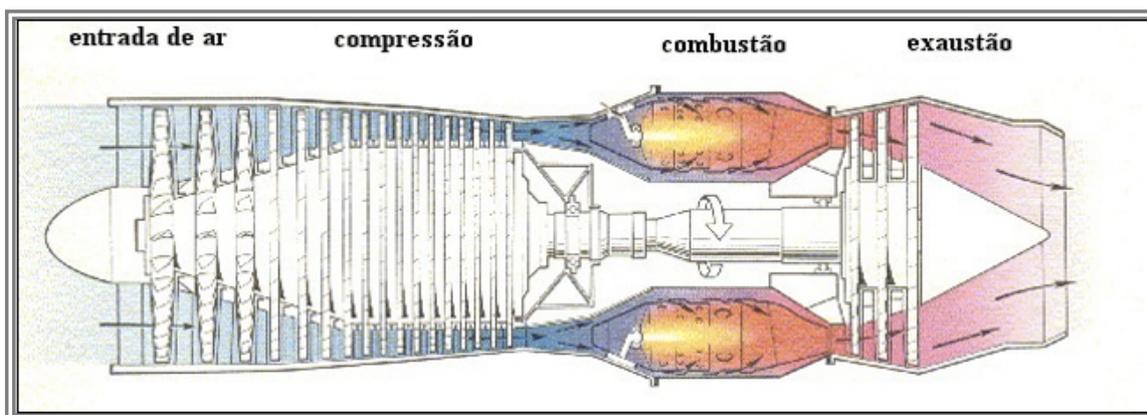


(Fonte: <http://livrepouso.com.br/porqueoaviaovoa/>, 2013)

Figura 9: Sustentação do avião no ar.

As fases desse tipo de motor, mostradas na Figura 10, ocorrem de maneira contínua sendo elas (Palharini, 1999/2000):

- Entrada de ar
- Compressão
- Combustão
- Exaustão



(Fonte: <http://canalpiloto.com.br/por-dentro-dos-motores-a-reacao/>, 2014)

Figura 10: As quatro fases do motor a reação.

O início do seu funcionamento se dá pelo chamado motor de arranque que tem por objetivo a rotação do eixo do compressor e da turbina, os quais estão acoplados em um mesmo eixo. Esse processo é interrompido quando o sistema compressor-turbina atinge uma rotação entre 55% e 60% da rotação máxima operacional, capaz de manter o funcionamento do motor (Palharini, 1999/2000).

Em primeiro lugar ocorre a admissão, que consiste na entrada de ar e têm as funções de minimizar a perda de pressão total, com o intuito de melhorar a eficiência da compressão, e fazer com que este ar entre no compressor na velocidade e pressão adequadas. Caso esse dois parâmetros não estejam ajustados corretamente na entrada do compressor, pode haver o descolamento do fluxo de ar nas palhetas desse devido a ondas de choque e gerar problemas de instabilidades aerodinâmicas como a redução da eficiência do motor e sua vibração, esse fenômeno é chamado de estol do compressor (Palharini, 1999/2000).

Na fase de compressão, o objetivo é fazer com que haja o aumento de energia do ar recebido da fase anterior, comprimindo-o e enviando-o para a câmara de combustão. Essa compressão se faz necessária para aumentar a eficiência térmica do motor durante a queima do combustível. O compressor possui vários estágios de compressão, cada um deles é formado por um rotor e um estator. O rotor, a parte móvel, imprime velocidade ao fluido e ao chegar no estator, a parte fixa, é desacelerado causando o aumento de pressão no fluido, conforme a equação de Bernoulli:

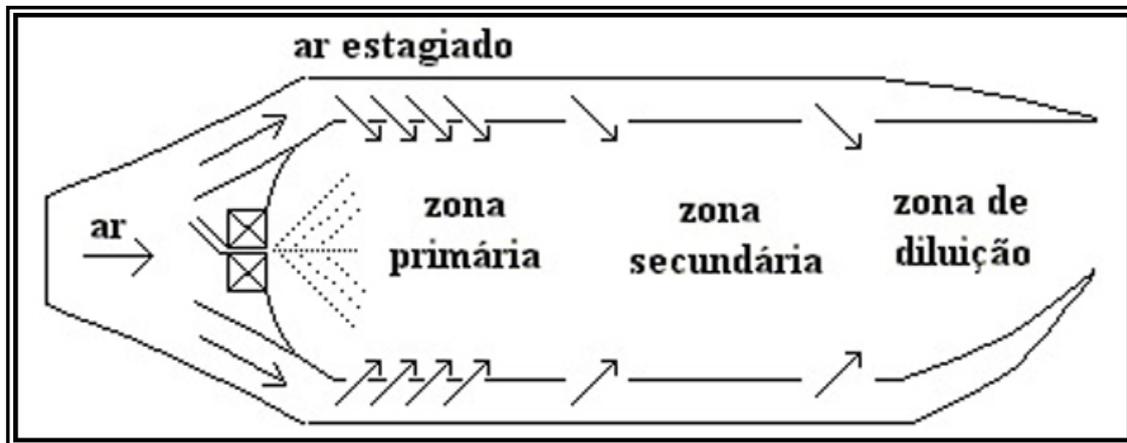
$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = constante \quad (1)$$

Onde:

P – Pressão

$\rho$  - massa específica do fluido

v – velocidade do fluido



(Fonte: <http://canalpiloto.com.br/por-dentro-dos-motores-a-reacao/>, 2014)

Figura 11: Câmara de combustão.

Como pode ser visto na Figura 11, o ar é dividido em duas zonas: a primária, a qual o ar vai para a câmara de combustão e onde ocorre a reação de combustão (25%), e a zona secundária, a qual o ar (75%) é utilizado para o resfriar a câmara, misturar aos gases queimados, diluir o calor e distribuir energia térmica de forma uniforme, antes que o fluxo de ar chegue a turbina (Palharini, 1999/2000).

Na fase de combustão, Figura 11, o ar que chega do compressor, com velocidade e pressão adequados, se junta ao combustível formando a mistura ideal de ar/combustível, essa mistura ao entrar em contato com a centelha promove a combustão. Uma mistura ideal para a inflamabilidade é de (15:1), ou seja, 15 partes de ar para uma parte de combustível em massa (Palharini, 1999/2000).

Antes do contato do ar secundário (já na zona de diluição) com a camisa, a combustão deverá ter sido completada para evitar que a temperatura da câmara diminua e cause a deficiência do aproveitamento energético pela turbina. Outro problema a ser evitado é a velocidade do ar que a câmara admite a qual não pode ser elevada, pois haveria problema em manter a chama acesa.

A última fase é a de exaustão. Parte da energia captada da fase anterior é transformada em potência de eixo da turbina, que serve para manter o compressor em funcionamento, e a outra parte é transformada em energia cinética no bocal de exaustão, que serve para gerar a força de tração.

Os motores a reação podem ser divididos em dois grupos de acordo com a queima do combustível (Palharini, 1999/2000):

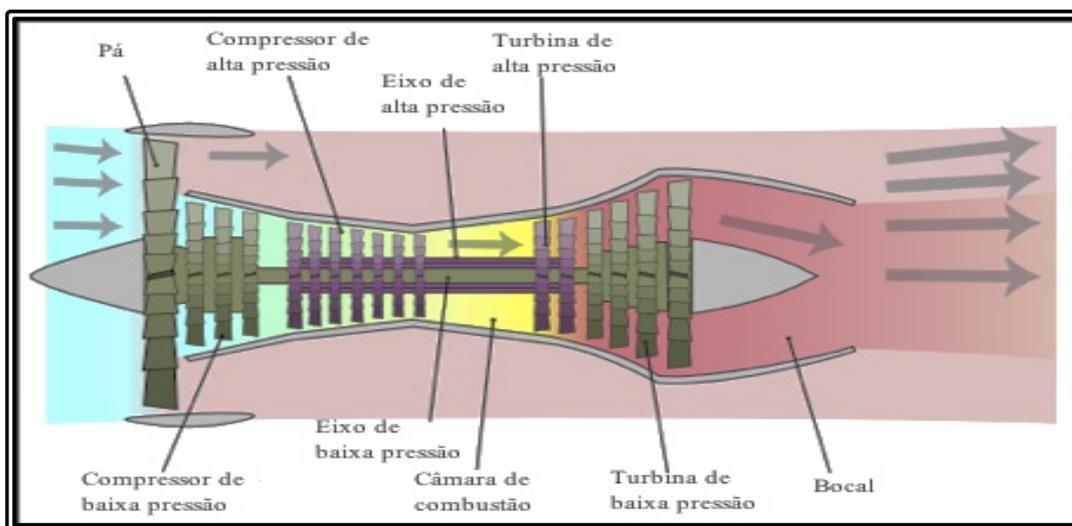
A) Motores aerotérmicos (aspirantes de ar)

- Estado-jato ou Estado-reator
- Pulso-jato
- Turbo-jato ou Jato puro
- Turbo-fan ou Turbo-ventoinha
- Turbo-hélice
- Turbo-eixo
- Prop-fan
- Turbo-estado
- Turbo-foguete

B) Motores não aerotérmicos (foguetes) - Este grupo faz parte os motores que impulsionam as aeronaves para a estratosfera e mais além.

O motor turbo-fan é, atualmente, o mais utilizado na aviação comercial, Figura 12. Ele é constituído por um sistema de pequenas pás, chamadas de fan ou ventoinha, por onde passa todo o fluxo de ar e parte dele (9:1), em média, vai para os compressores (Palharini, 1999/2000).

A característica do seu grande diâmetro faz o motor turbo-fan ter uma admissão de ar maior do que o motor turbo-jato, por causa de sua grande área frontal. De todo o ar que passa pelo motor fan, apenas 20% é usado para a queima, o que produz uma alta tração com baixo consumo de combustível e o torna mais silencioso do que os demais (Palharini, 1999/2000).



(Fonte: [http://lcas.otaski.org/index.php/Build\\_a Cheap\\_turbofan](http://lcas.otaski.org/index.php/Build_a Cheap_turbofan), 2013)

Figura 12: Modelo de um motor turbo-fan.

### 3.3 Combustíveis de aviação

Os combustíveis aeronáuticos utilizados atualmente são derivados do petróleo. Eles podem ser classificados em três grupos (Figueiredo, 2013):

#### A) Gasolina de aviação (Avgas) :

Esse combustível é o mais utilizado em motores de combustão interna. As suas características devem atender a norma internacional, ASTM D910, e nacional, Resolução ANP N°5 de 03.02.2009.

#### B) Querosene de aviação (JET-A1 ou QAV-1)

Esse combustível é usado em motores a reação como o turbo-hélice, jato-puro e turbo-fans. As suas características estão especificadas na norma ASTM D1655 e na Resolução ANP N°37 de 01.12.2009.

#### C) Diesel

Esse combustível é não usual, sendo usado em motores diesel, os quais operam com combustíveis menos voláteis que a gasolina. A baixa volatilidade do combustível reduz

risco de incêndio e de formação de bolhas de vapor que são responsáveis por incidentes de parada ou perda de potência dos motores a gasolina (Figueiredo, 2013).

A utilização desse combustível ainda não foi aprovada pelas autoridades da aviação civil brasileira, apesar da empresa alemã Thielert AG ter começado a desenvolver os motores diesel em 2002, em virtude da qualidade mutável do produto oferecido pelo mercado (Liach, 2010).

O combustível para aviação precisa seguir determinadas características e para os motores a reação, as mais apropriadas são (Blakey et al., 2011):

- Elevado poder calorífico.
- Efeito lubrificante para minimizar o efeito de atrito das peças móveis do sistema.
- Evitar a probabilidade de incêndio.
- Alta viscosidade para que o fluido escoar com facilidade nas condições operacionais.
- Não ser corrosivo para garantir a vida útil do motor.
- Baixo ponto de congelamento devido a alta altitude e a baixas temperaturas durante o voo, o combustível precisa manter sua viscosidade.
- Alta volatilidade para que se tenha combustão eficiente e partida rápida do motor.
- Ampla disponibilidade e custos aceitáveis.

Devido a essas especificações, o combustível mais adequado para aviação comercial e o mais usado é o querosene do tipo JET-A1 ou QAV-1. A sua composição, como mostrado na Tabela 2 apresenta grupos de parafinas, naftênicos e aromáticos, com olefinas, em proporções menores, e o que diferencia o querosene para aviação dos outros tipos de querosene é o baixo teor de olefinas e aromáticos e o alto teor de parafinas.

O QAV-1 possui entre 70-85% do combustível é composta por parafinas de cadeias normais, cadeias ramificadas, isoparafinas e cicloparafinas ou naftênicos, (Blakey et al., 2011).

Tabela 2: Composição do querosene de aviação

Componentes	Fórmula	Classe de hidrocarbonetos
n-octano	$C_8H_{18}$	n-parafina
2-metilheptano	$C_8H_{18}$	isoparafina
1-metil-1-etilciclopentano	$C_7H_{14}$	naftano
etilciclohexano	$C_8H_{16}$	naftano
o-xileno	$C_8H_{10}$	aromático
p-xileno	$C_8H_{10}$	aromático
cis-decalina	$C_{10}H_{18}$	naftano
tetralina	$C_{10}H_{12}$	aromático
naftaleno	$C_{10}H_8$	aromático
n-dodecano	$C_{12}H_{26}$	n-parafina
2-metillundecano	$C_{12}H_{26}$	isoparafina
1-etilnaftaleno	$C_{12}H_{12}$	aromático
n-hexilbenzeno	$C_{12}H_{18}$	aromático
n-hexadecano	$C_{16}H_{34}$	n-parafina
2-metilpentadecano	$C_{16}H_{34}$	isoparafina
n-decilbenzeno	$C_{16}H_{26}$	aromático

(Fonte: Adaptado de Baroution et al., 2013)

No Brasil são produzidos dois tipos de querosene (Petrobras, 2014):

A) QAV-1, com especificações correspondentes aos padrões internacionais.

B) JP5 de uso específico pela marinha do Brasil. Segue as mesmas normas que o QAV-1.

A resolução brasileira da ANP N° 37 de 01.12.2009 estabelece especificações do QAV-1 usado em turbinas de aeronaves, comercializado por produtores, importadores, distribuidores e revendedores, em todo o território nacional, segue diretrizes da AFQRJOS (*Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems*) e também das normas de ASTM D1655 e a DEF STAN 91-91.

A Tabela 3 apresenta as especificações que o QAV-1 deve ter, entre elas a quantidade de enxofre, aromáticos, e os aditivos como inibidor de gelo, antioxidante e outros necessários para o bom funcionamento do motor.

Tabela 3: Especificações do querosene de aviação (QAV-1 ou JET-A1)

Característica	Unidade	ANP 37/2009	ASTM 1655	DEF STAN 91-90
Aspecto	-	Claro, límpido, isento de água e mat. sólido	-	Claro, límpido, isento de água e mat. sólido
Cor	-	Anotar	-	Anotar
Acidez total, máx.	mgKOH/g	0,015	0,10	0,015
Aromáticos, máx.	%vol	25	25	25
Aromáticos totais, máx.	%vol	26,5	26,5	26,5
Enxofre total, máx.	% massa	0,30	0,30	0,30
Enxofre mercaptídico, máx	%massa	0,0030	0,0030	0,0030
ou Ensaio Doctor	-	Negativo	-	Negativo
Fração hidroprocessada	%vol	Anotar	-	Anotar
Fração severamente hidroprocessada	%vol	Anotar	-	Anotar
PIE	°C	Anotar	-	Anotar
10% evaporado, máx.	°C	205	205	205
50% evaporado, máx.	°C	Anotar	Anotar	Anotar
90% evaporado, máx.	°C	Anotar	Anotar	Anotar
PFE, máx.	°C	300	300	300
resíduo, máx.	%vol	1,5	1,5	1,5
perda, máx.	%vol	1,5	1,5	1,5
Ponto de fulgor, mín.	°C	40 ou 38	38	38
Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	771,3-836,6	775-840 (15°C)	775-840 (15°C)
Pto de congelamento, máx.	°C	- 47	- 47	- 47
Viscosidade a -20°C, máx.	mm <sup>2</sup> /s	8	8	8
Poder calorífico inferior, mín.	MJ/kg	42,8	42,8	42,8
Pto de fuligem, mín. ou	mm	25	25	25
Pto de fuligem, mín. e Naftalenos, máx	mm e %vol	19 e 3	18 e 3	19 e 3
Corrosividade à prata, máx.	-	1	-	-
Corrosividade ao cobre (2h a 100°C), máx.	-	1	1	1
Estabilidade térmica queda de pressão no filtro, máx.	mmHg	25	25	25
Depósito no tubo (visual), máx.	-	< 3	< 3	< 3
Goma atual, máx.	mg/100mL	7	7	7
<b>Índice de separação de água, MSEP</b>				
Com dissipador de cargas estáticas, mín.	-	70	70	70
Sem dissipador de cargas, mín.	-	85	85	85
Condutividade elétrica	pS/m	50 - 600	50 - 600	50 - 600
Lubricidade, BOCLE máx.	mm	0,85	-	0,85
Antioxidante	mg/L	17 – 24	17 – 24	17 – 24
Desativador de metal, máx.	mg/L	5,7	5,7	5,7
Dissipador de cargas estáticas, máx	mg/L	5	5	5
Inibidor de formação de gelo	%vol	0,10 – 0,15	0,10 – 0,15	0,10 – 0,15
Detector de vazamentos, máx.	mg/kg	1	1	1

(Fonte: ANP)

### ***3.4 Biocombustíveis para aviação***

O objetivo da indústria da aviação no âmbito ambiental é reduzir as emissões de poluentes. Sendo assim, a busca por combustíveis alternativos, denominados neste setor de biocombustíveis “*drop-in*” sustentáveis é cada vez maior.

Os biocombustíveis “*drop-in*” são referenciados pelas normas ASTM D4054 e ASTM D7566 e pela Resolução ANP N°20 de 26.06.2013. Eles podem ser misturados com o combustível de aviação convencional em proporções definidas pela especificação técnica do combustível, sem alterar a infraestrutura de abastecimento e que não exija adaptação dos aviões ou dos motores.

Alguns dos potenciais combustíveis alternativos para aviação, que foram testados a partir de misturas com o querosene convencional, é o bioquerosene obtido por Fischer-Tropsch (FT) e pelo hidrocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA). Outras opções de combustíveis alternativos estão surgindo a partir de rotas bioquímicas como álcoois.

A questão da sustentabilidade também tem relevância e atualmente, existem organismos internacionais de sustentabilidade, tais como *Roundtable on Sustainable* (RBS) e o *International Sustainability and Carbon Certification System* (ISCC), que definem princípios e critérios sugeridos por Goldemberg (2011), alguns deles são:

- Leis e Conservações Internacionais.
- Direitos Fundiários.
- Biodiversidade e Ecossistemas.
- Emissões de GEE's.
- Poluição de ar.
- Avaliação de impacto social e ambiental.

A certificação sustentável é importante, posto que, é um dos requisitos desejáveis para o ingresso no mercado, onde normas e certificações de processos são complexos.

As certificações técnicas feitas para a aviação comercial são regulamentadas por órgãos nacionais, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil e a *Federal Aviation Administration* (FAA) nos EUA. As propriedades e desempenho dos combustíveis para aviação devem passar pela aprovação de outras organizações, como ANP, onde todas elas mantem o padrão internacional para o uso tanto do querosene quanto dos combustíveis alternativos que estão surgindo.

Os processos que estão em desenvolvimento para a produção dos biocombustíveis *drop-in* são regulamentados e certificados pelo subcomitê de combustíveis da aviação internacional da ASTM, o Subcomitê J. Essa agência internacional, que têm o respaldo das outras administrações de aviação, avalia os dados e estabelece critérios para as certificações dos combustíveis alternativos. O subcomitê J estabeleceu dois critérios para avaliar os processos:

- ASTM D4054 – Padrão prático para aprovação e qualificação dos novos combustíveis de aviação e aditivos.
- ASTM D7566 – Padrão de especificação dos combustíveis de aviação contendo hidrocarbonetos sintetizados.

A norma ASTM D7566, emitida em setembro de 2009, inclui apenas os combustíveis que apresentem a mesma composição e propriedades do JET-A1. Esta norma estabelece dois processos para aprovar combustíveis alternativos: o Fischer-Tropsch (FT) e Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos (HEFA), que pode ser misturado, com o combustível derivado de petróleo, em 50% em volume. No Brasil, já existe a Resolução ANP N°20 de 24.06.2013 que permite o uso dessas duas rotas com a mesma mistura, em volume, com o querosene convencional. As suas especificações para essa resolução são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Características na ANP do F-T SPK e HEFA SPK

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO	
			IP	ASTM
COMPOSIÇÃO				
Acidez total, máx.	mg KOH/g	0,015	354	D3242
VOLATILIDADE				
Destilação Física (2)	°C		123	D86
P.I.E. (Ponto Inicial de Ebulição)		Anotar		
10% vol. recuperados, máx.		205,0		
50% vol. recuperados		Anotar		
90% vol. recuperados		Anotar		
P.F.E. (Ponto Final de Ebulição), máx.		300,0		
(90% vol. Recuperados) T90 - (10% vol. Recuperados) T10, mín		22,0		
Resíduo, máx.		% volume		
Perda, máx.				
Destilação Simulada				
10% vol. Recuperados (T10)	°C	Anotar	406(3)	D2887
50% vol. Recuperados (T50)				
90% vol. Recuperados (T90)				
P.F.E. (Ponto Final de Ebulição), máx.				
Ponto de fulgor, mín.	°C	38,0	170	D56(4)
			523	D3828
Massa específica a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	730 a 770	160	D1298
			365	D4052
FLUIDEZ				
Ponto de congelamento, máx.	°C	- 40,0	435	D2386
			529	(5)
			528	D5972
			16	D7153
				D7154
ESTABILIDADE				
Estabilidade térmica a 325°C				
Queda de pressão no filtro, máx.	mm Hg	25,0	323(6)	D3241
Depósito no tubo (visual)	-	< 3 (não poderá ter depósito de cor anormal ou de pavão)		
CONTAMINANTE				
Goma atual, máx. (7) (8)	mg/100 mL	7,0	540	D381
Teor de biodiesel, máx. (8)	ppm	<5	585	-
			590	
ADITIVOS				
Antioxidante (9) (10)	mg/L	17,0 a 24,0	-	-

(Fonte: ANP)

A norma ASTM D4054 é um processo iterativo que visa dar certificação para a empresa produtora de biocombustível. Primeiramente, deve ter o seu combustível alternativo para aviação de acordo com as propriedades específicas chamadas de *Fit-For-Purpose* (FFP), essas propriedades também são encontradas na norma ASTM D7566. Depois ter seus equipamentos de produção testados e, se necessário, é feito um teste no motor, só assim se

obtem a certificação da ASTM (IATA RAF,2013). As etapas simplificadas dessa certificação é mostrado na Figura 13.



(Fonte: Adaptado de IATA RAF,2013)

Figura 13: Processo simplificado de certificação ASTM D4054.

A Figura 14 faz um mapeamento do caminho que o candidato a combustível alternativo para aviação passa com destaque para as certificações adquiridas.



(Fonte: IATA RAF, 2013)

Figura 14: Certificação de combustíveis alternativos.

Os combustíveis já aprovados pela ASTM são:

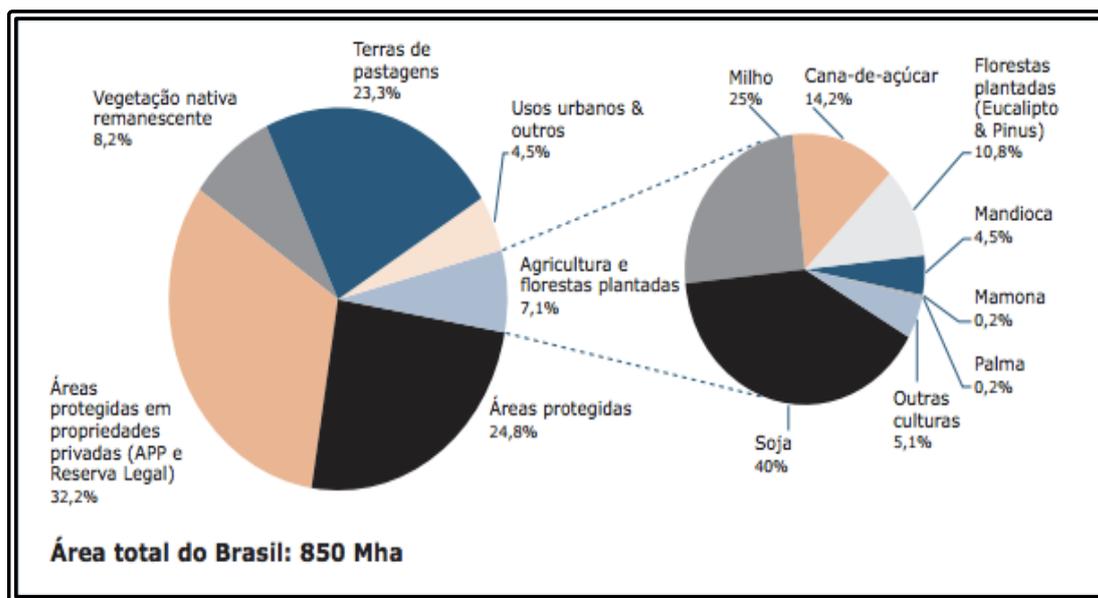
- Fischer-Tropsch Querosene Parafínico Sintético (FT-SPK) - Processo usado para a conversão de carbono, gás natural ou biomassa em gás de síntese, seguido por um processo de FT em uma cadeia longa de parafina ou olefina. Esse combustível foi aprovado como anexo A1 para ASTM D7566, em setembro de 2009.
- Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos Querosene Parafínico Sintético, (HEFA-SPK) – Processo usado para a conversão de gorduras de plantas e animais e óleo para o hidrocarboneto como combustível pela desoxigenação, hidroprocessamento e hidrocrackeamento. Esse combustível foi aprovado como anexo A2 para ASTM D7566, em julho de 2011.

Outros combustíveis estão no processo de revisão para ser aprovados pela ASTM tais como Álcool para Querosene Parafínico Sintético (ATJ-SPK), Fermentação Direta de Açúcares direto para Hidrocarbonetos (DSCHC), Fischer-Tropsch Querosene Parafínico Sintético com Aromáticos (F-T SPKA), Celulósico Depolimerizado Hidrotratado para combustível de aviação (HDCJ) (IATA RAF, 2013).

As matérias-primas que têm potencial para serem utilizadas como biocombustíveis para aviação são diversificadas e a sua produção no mundo vai variar de região para região dependendo de fatores como (PVBAB, 2013):

- Disponibilidade de terras.
- Leis de regulamentação ambiental.
- Fatores climáticos.
- Regulamentos de saúde e segurança dos trabalhadores rurais.

O Brasil, apresenta uma forte agricultura, uma grande quantidade de biomassas, além de estímulos para programas na produção de biocombustíveis. O setor agrícola brasileiro ocupa 30,4% do território brasileiro divididos em 23,3% para pastagem e 7,1% em agricultura e florestas plantadas, enquanto 65% do território é coberto por vegetação nativa. A maior parte dessas terras agrícolas é ocupada por pastagens destinadas aos gados, Figura 15 (PVBAB, 2013).



(Fonte: PVBAB, 2013)

Figura 15: Divisão do uso das terras brasileiras e matérias-primas com potencial para biocombustíveis.

A maioria das culturas brasileiras depende, basicamente, da água das chuvas, não necessitando de irrigação. Além disso, os climas temperado, subtropical e tropical favorecem a diversidade de biomassa. Outro aspecto, é o fato do Brasil já ter experiência em biocombustíveis, a produção de etanol, a partir da cana de açúcar, e o biodiesel. Todos esses aspectos tornam o Brasil com um grande potencial para desenvolvimento do programa de biocombustíveis para aviação (PVBAB, 2013).

As biomassas que podem iniciar esse processo no Brasil são as que contêm açúcares e amidos/oleaginosas e as que produzem materiais lignocelulósicos e resíduos urbanos e industriais. No que se refere a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, as culturas de cana-de-açúcar e de eucalipto cumprem esse papel na análise do ciclo de vida, já as oleaginosas precisam ter mais cautela, pois pode não ter um bom retorno nos investimentos em energia e emissões de CO<sub>2</sub>. Outras matérias-primas utilizadas são os resíduos vegetais como palha, bagaço de cana e subprodutos florestais (PVBAB, 2013). A escolha da biomassa mais apropriada para a produção de biocombustível depende, não apenas da sua disponibilidade, como também de outros fatores. Dentre eles, o teor de emissões de CO<sub>2</sub> avaliados a partir da análise do seu ciclo de vida no processo de produção do combustível, dos custos que o processo de conversão possa vir a ter e dos custos da produção da própria matéria-prima.

Muitas dessas biomassas já são utilizadas para a produção de biocombustíveis em outro tipo de motor, o que pode ser uma barreira para o seu uso na aviação. Contudo, no Brasil, a coexistência entre os diferentes biocombustíveis é possível, já que quantidades significativas de biomassa podem ser produzidas devido às condições favoráveis da agricultura e silvicultura.

Ainda no âmbito brasileiro, a questão da competição para a produção de biocombustíveis com o setor de alimentos não é uma realidade, pois ambos caminham paralelamente. Uma solução é o desenvolvimento dos óleos não comestíveis, de menor valor no mercado e de fácil acesso, resíduos vegetais e óleo de pinhão-manso, camelina, tem sido cada vez mais estudados (Baroutian et al.,2013). Uma outra solução é gerar combustível de segunda geração, o que já vem sendo realizado, em alguns países, como EUA, Brasil, Alemanha, Espanha e Itália por meio da implementação de plantas de segunda geração, conforme é possível verificar nas Figuras 16 e 17 baseados no “Anexo A” (Köhler et al., 2014). Contudo ainda não é direcionado para aviação.

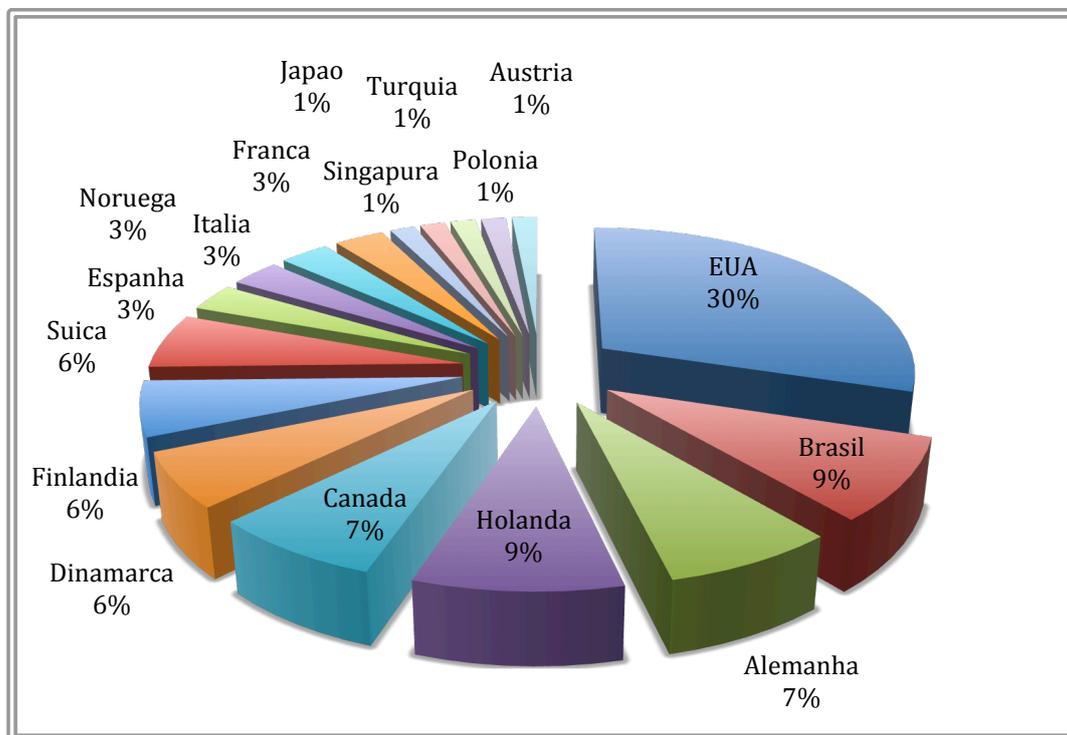


Figura 16: Distribuição de plantas de segunda geração por países.

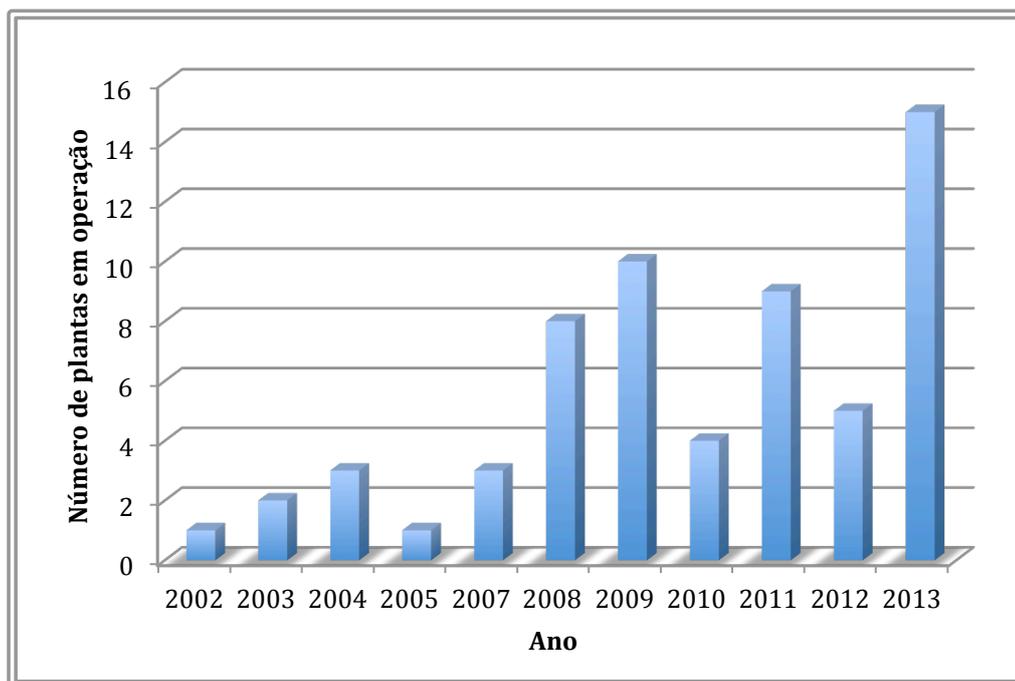


Figura 17: Distribuição do número de plantas de segunda geração por ano.

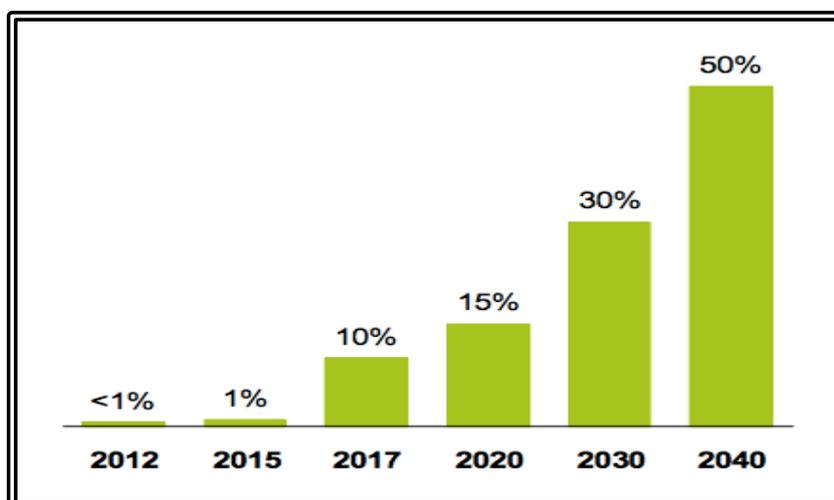
O bioquerosene é definido de acordo com a Resolução ANP N<sup>o</sup>20 de 24.06.2013, como um combustível derivado de biomassa renovável, que é usado em motores a reação, sendo produzido pelos processos FT SPK e HEFA. Ele é misturado em 50%, em volume, ao querosene convencional de aviação. A Tabela 5 apresenta uma comparação das características do querosene e do bioquerosene.

Tabela 5: Comparação entre o querosene e o bioquerosene

<b>Querosene</b>	<b>Bioquerosene</b>
Não renovável	Renovável
Produzido com petróleo	Produzido principalmente com cana e óleos vegetais
Mais poluente	Menos poluente
Preço único de produção	Várias rotas tecnológicas de produção
Produção bem estabelecida e distribuída em todo o mundo	Produção apenas experimental, sem escala industrial
Preço de mercado	Preço ainda alto

(Fonte: Adaptado da pesquisa FAPESP, 2013)

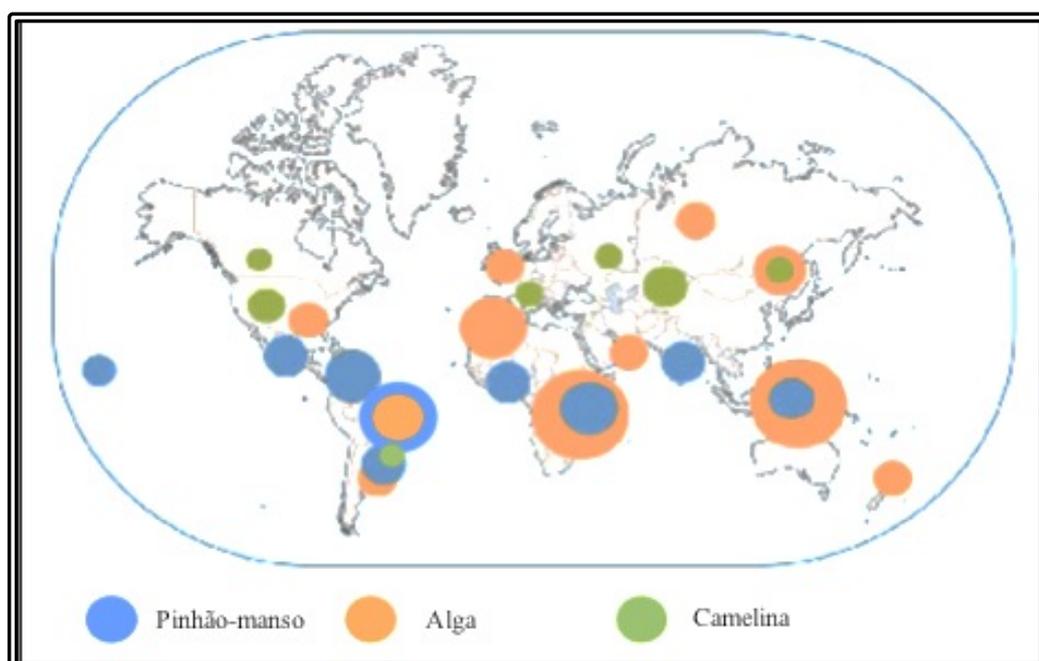
A viabilidade técnica desse combustível já é uma realidade, alguns voos testes já foram realizados, e o seu consumo tende a crescer nos próximos 28 anos, conforme a Figura 18. Em relação à matéria-prima, as três mais usadas para a produção do bioquerosene são pinhão-manso, uma das mais promissoras, camelina e, a longo prazo, algas (Bioquerosene ABPPM, 2010).



(Fonte: Bioquerosene ABPPM, 2010)

Figura 18: Desenvolvimento do consumo do bioquerosene em 28 anos.

A Figura 19 mostra um panorama das regiões no mundo classificadas como ótimas para a produção dessas matérias-primas.

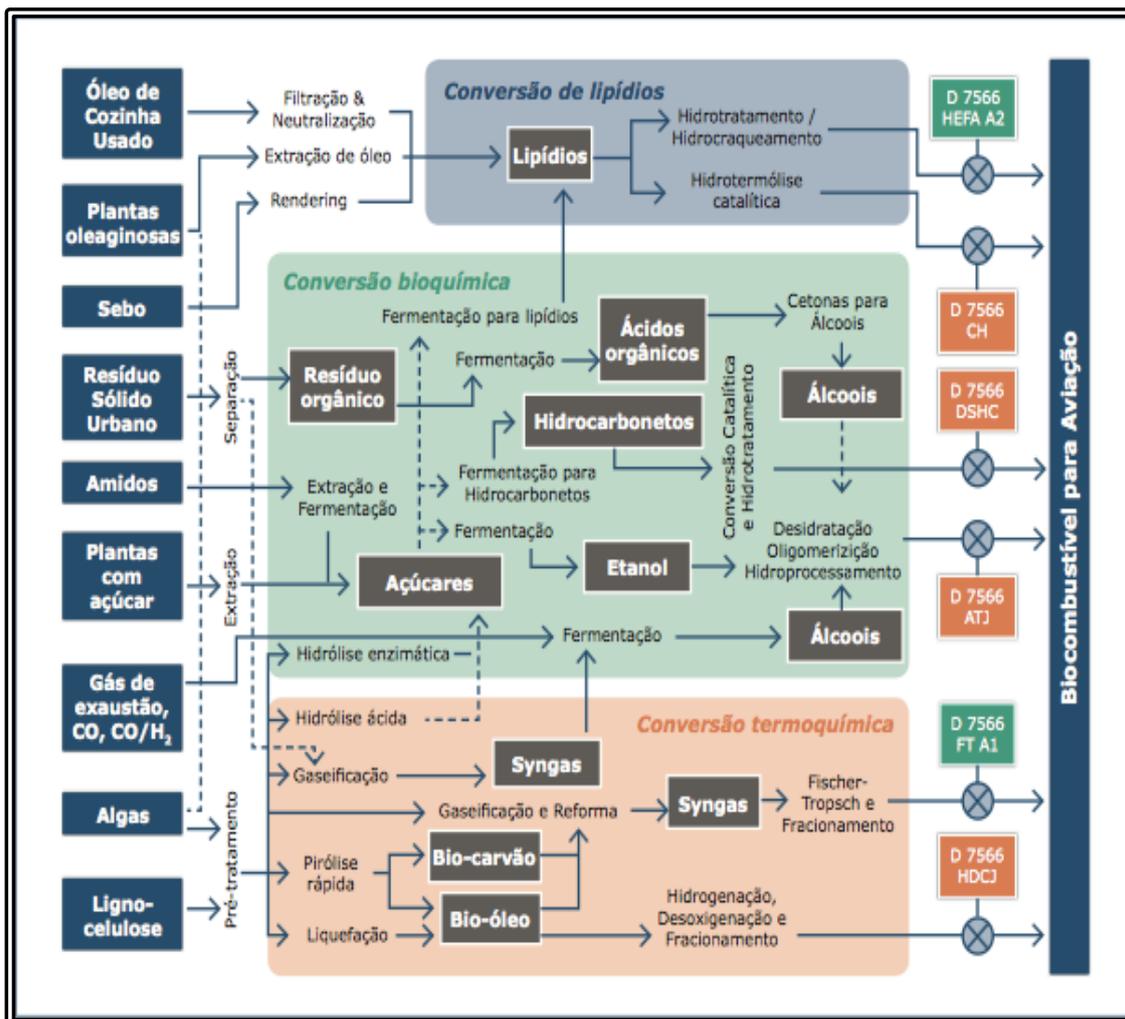


(Fonte: Bioquerosene ABPPM, 2010)

Figura 19: Distribuição de biomassas no mundo.

### 3.5 Processos desenvolvidos

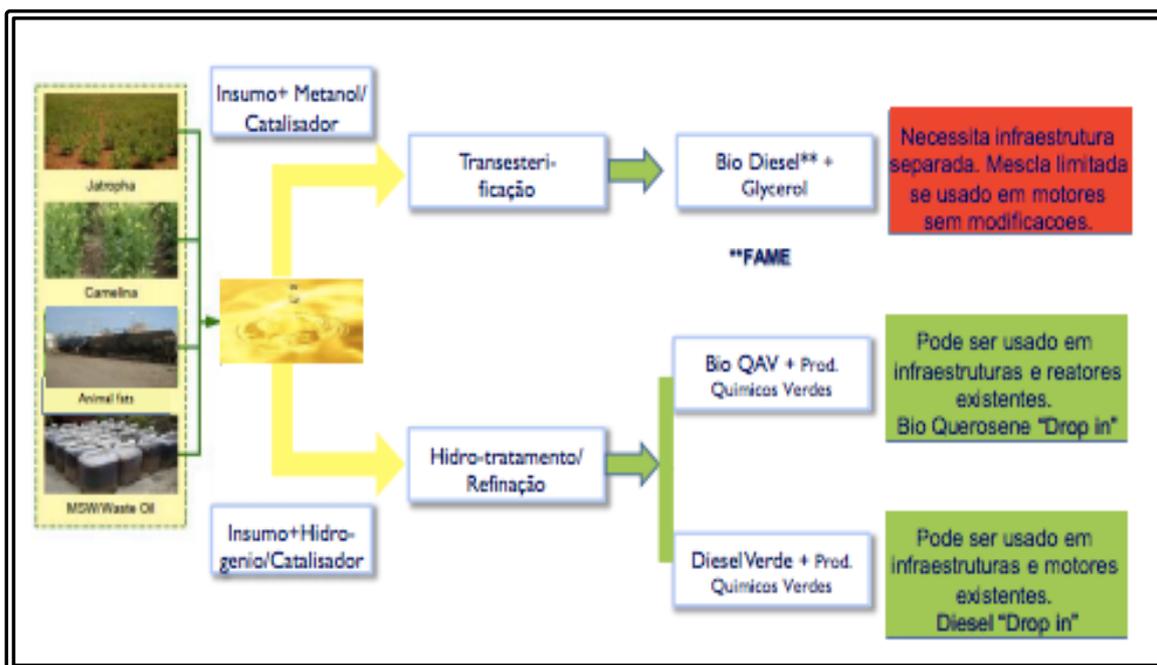
Os processos desenvolvidos, juntamente com as matérias-primas utilizadas para a produção de biocombustíveis *drop-in* para aviação, cresceram de forma significativa. Os três tipos de conversões já identificados são: a lipídica, termoquímica e bioquímica, Figura 20.



(Fonte: PVBAB, 2013)

Figura 20: Rotas tecnológicas para a produção de biocombustíveis para aviação.

O bioquerosene e o biodiesel podem ser produzidos a partir das mesmas matérias-primas, o que diferencia esses dois combustíveis são as suas rotas de conversão que conferem características diferentes, conforme mostrados na Figura 21 e Tabela 6.



(Fonte: <http://www.dcabr.org.br/download/eventos/eventos-realizados/2011/04.pdf>)

Figura 21: Processos de obtenção do biodiesel e bioquerosene.

Tabela 6: Características do biodiesel e bioquerosene dos óleos de coco e palma

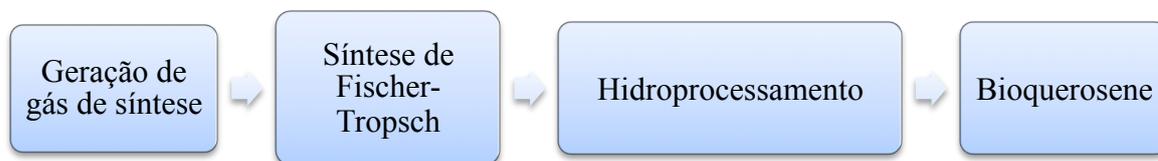
FAME	Óleo de coco (FAME)	Óleo de palma (FAME)	Bioquerosene (coco)	Bioquerosene (palma)
C 8:0	8.3	-	17.3	3.6
C 10:0	3.0	-	7.0	3.5
C 12:0	55.5	56.6	66.7	90.8
C 14:0	14.9	15.0	8.9	2.1
C 16:0	6.4	8.5	0.1	-
C 18:0	2.5	1.7	-	-
C 18:1	7.5	17.1	-	-
C 18:2	1.9	1.1	-	-

(Fonte: Adaptado de Llamas et al., 2012)

As rotas certificadas para obtenção do bioquerosene são Fischer-Tropsch (FT) e Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos (HEFA).

O bioquerosene obtido por FT pode ter diversificadas matérias-primas como carvão, gás natural e o biocombustível pela biomassa. Essas matérias-primas são transformadas em gás de síntese, CO e H<sub>2</sub>. Esse é usado na síntese de FT para se obter hidrocarbonetos. O produto é tratado posteriormente por hidroprocessamento e fracionamento de forma a se

produzir o combustível final com as propriedades adequadas para ser utilizado nos motores a reação (Velázquez et al., 2012). O processo é mostrado na Figura 22.



(Fonte: adaptado de Blakey et al., 2011)

Figura 22: Simplificação da produção de SPK por Fischer-Tropsch.

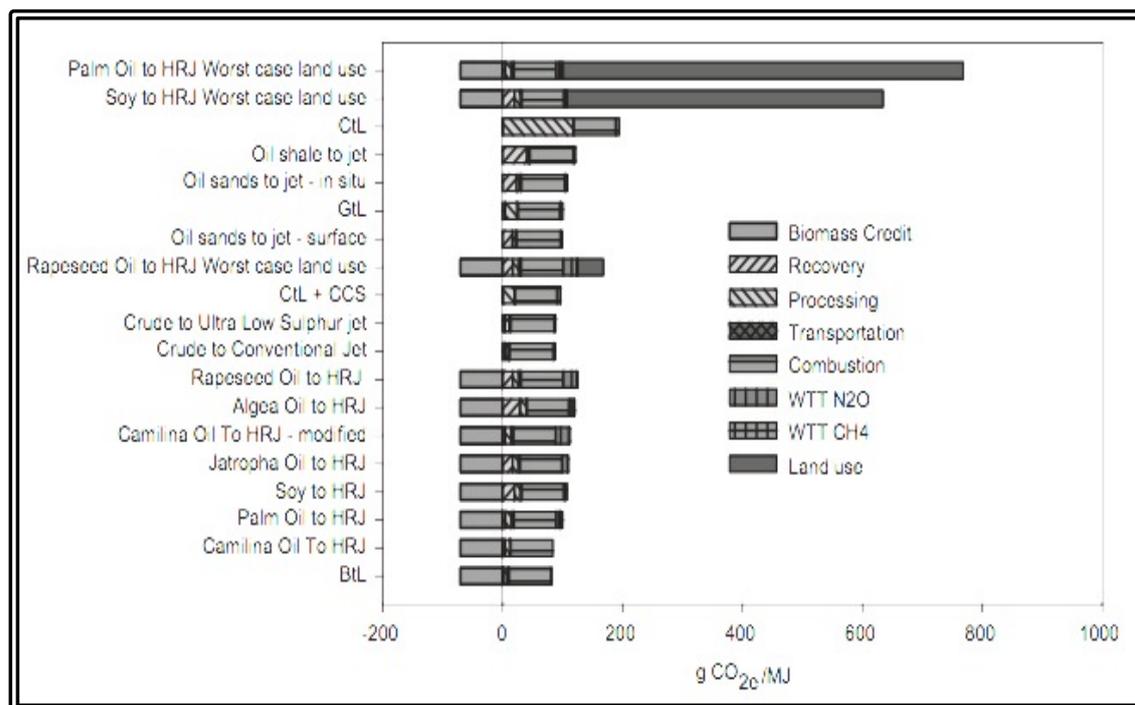
O bioquerosene, obtido pela rota HEFA, é um composto de hidrocarbonetos parafínicos obtidos a partir de triglicerídeos e ácidos graxos presentes nos óleos vegetais e/ou gordura animal. O processo simplificado consiste no hidrotreamento do óleo seguido por um hidrocrackeamento, no qual o hidrocarboneto é quebrado para um número de carbonos semelhantes ao QAV-1, Figura 23.



(Fonte: adaptado de Blakey et al., 2011)

Figura 23: Simplificação da produção do SPK por hidroprocessamento.

A figura 24 mostra a análise dos combustíveis convencionais e renováveis quanto a emissão de CO<sub>2</sub>. Os combustíveis como CtL, GtL, *oil sand to jet* apenas emitem CO<sub>2</sub> para atmosfera, diferentemente, dos combustíveis de óleos hidroprocessados (HRJ), os quais além de emitir também consomem CO<sub>2</sub>.



(Fonte: Blakey et al., 2011)

Figura 24: Saldo de CO<sub>2</sub> dos combustíveis convencionais e os renováveis.

A Tabela 7 faz uma comparação entre o combustível convencional de aviação, o QAV-1, e os biocombustíveis para aviação testados, avaliando as suas propriedades.

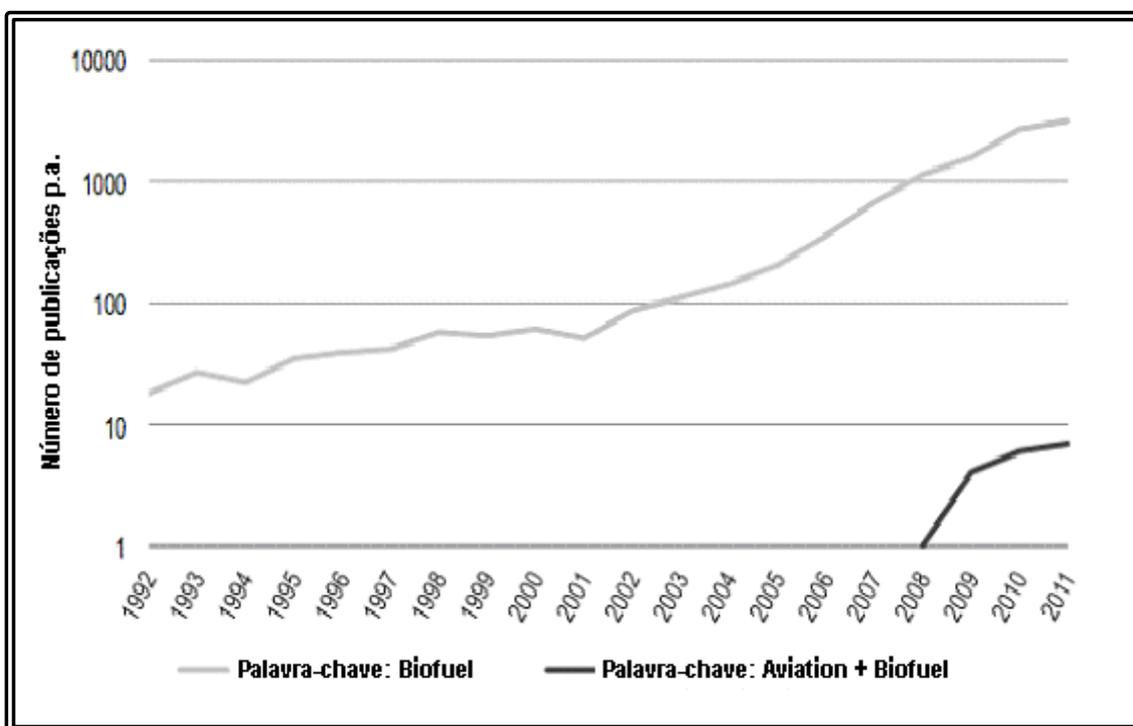
Tabela 7: Propriedades do combustível convencional e dos biocombustíveis de aviação

Propriedades	Jet-A 4658	Syntroleum S-8 4734	Shell GTL 5172	Sasol IPK 5642	UOP Camelina 6152	UOP sebo 6308	Syntroleum R-8 5469
Calor gerado da combustão (MJ/Kg)	42.8	44.1	44.2	44.0	44.3	44.1	44.1
Densidade a 15 °C (Kg/L)	0.806	0.757	0.737	0.762	0.751	0.758	0.762
Viscosidade a -20 °C (mm <sup>2</sup> /s)	4.1	4.6	2.6	3.6	3.3	5.3	5.5
Ponto de Fulgor (°C)	47	49	44	44	43	55	48
Ponto de Congelamento (°C)	-49	-59	-54	< -78	< -77	-62	-49
Ponto de ebulição (°C)	211	201	169	180	182	20	215
Grau API a 60 °F	-	55.3	60.5	54.3	56.8	55.1	54.1
Razao molecular H/C	1.957	2.152	2.202	2.119	2.169	2.152	2.152
Peso molecular (g/mol)	142	168	146	156	160	174	177
Formula molecular	C <sub>10.174</sub> H <sub>19.913</sub>	C <sub>11.847</sub> H <sub>25.502</sub>	C <sub>10.26</sub> H <sub>22.597</sub>	C <sub>11.027</sub> H <sub>23.37</sub>	C <sub>11.27</sub> H <sub>24.446</sub>	C <sub>12.271</sub> H <sub>26.412</sub>	C <sub>12.482</sub> H <sub>26.868</sub>

(Fonte: Adaptado de Hui et al., 2012)

### 3.6 Iniciativas do uso de biocombustíveis para aviação

O número de publicações referentes aos biocombustíveis para aviação são recentes, desde 2008, quando comparadas as de outros biocombustíveis, conforme ilustrado pela na Figura 25. Apesar disso, mais de 20 companhias aéreas realizaram voos comerciais e de demonstração com biocombustíveis derivados de matérias-primas como o óleo de cozinha usado e plantas oleaginosas como pinhão-manso, camelina e óleo de palma, algas, como mostrado na Tabela 8.



(Fonte: Köhler et al.,2014)

Figura 25: Número de publicações de biocombustíveis para aviação por ano.

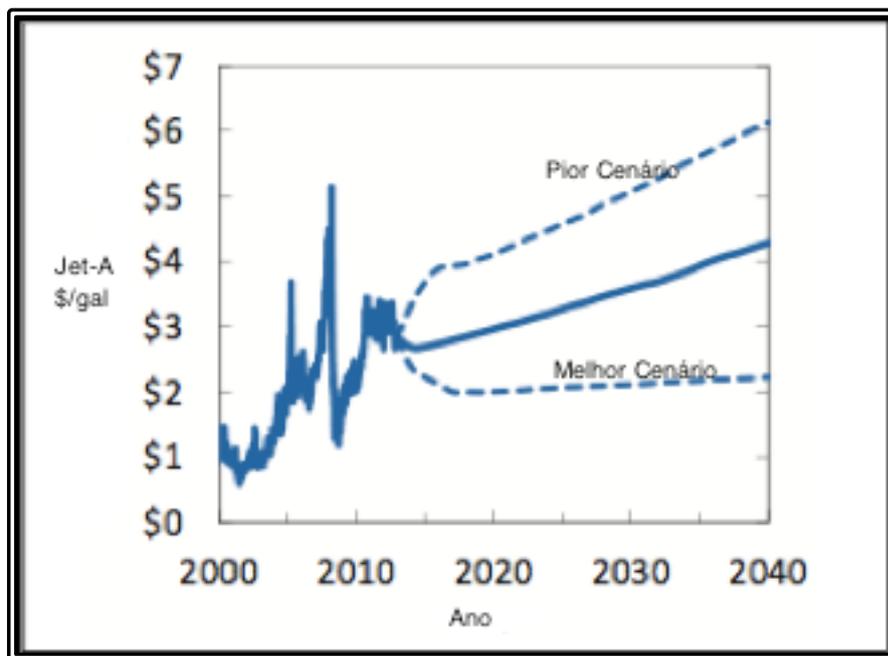
Tabela 8: Voos realizados com biocombustíveis em aeronaves

<b>Ano</b>	<b>Operador</b>	<b>Veículo</b>	<b>Matéria-prima</b>
2008	Virgin Atlantic	Boeing 747	coco e babassu
2008	Air New Zeland	Boeing 747	pinhão-manso
2009	Continental Airlines	Boeing 747	Alga e pinhão-manso
2009	Japan Airlines	Boeing 747	Camelina, alga e pinhão-manso
2010	Marinha EUA	F/A-18	Camelina
2010	Força aérea EUA	A-10	Camelina
2010	Exército alemão	Ah-64 Apache Helicopter	sobra de óleo de cozinha
2010	EADS	Diamond D42	alga
2010	Marinha EUA	MH-60S Seahawk	Camelina
2010	TAM	Airbus 320	pinhão-manso
2011	Boieng	Boeing 747-8F	Camelina
2011	Honeywell	Gulfstream G450	Camelina
2011	KLM	Boeing 737-800	sobra de óleo de cozinha
2011	Lufhansa	Airbus A321	Pinhão-manso, camelina e gordura animal
2011	Finnair	Airbus A319	sobra de óleo de cozinha
2011	Interjet	Airbus A320	pinhão-manso
2011	Marinha EUA	T-45	Camelina
2011	Marinha EUA	AV-8B	Camelina
2011	Air China	Boeing 747-400	pinhão-manso
2011	Continental Airlines	Boeing 737-800	alga
2011	Alaska Airlines	Boeing 737 e Bombardier Q400	alga
2011	AeroMexico	Boeing 777-200	pinhão-manso
2011	Thomson Airways	Boeing 757-200	sobra de óleo de cozinha
2011	Continental Airlines	Boeing 737-800	alga
2012	Etihad Airways	Boeing 777-300ER	vegetable cooking oil
2012	Porter Airlines	Bombardier Q400	<i>Camelina sativa e Brassica carinata</i>
2012	NRC	Dassault Falcon 20	Carinata
2013	Paramus Flying Club	Cessna 182	sobra de óleo de cozinha
2013	KLM	Boeing 777-206ER	sobra de óleo de cozinha
2014	KLM	Airbus A330-200	sobra de óleo de cozinha

(Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Aviation\\_biofuel](http://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_biofuel), 2014)

### 3.7 Viabilidade econômica

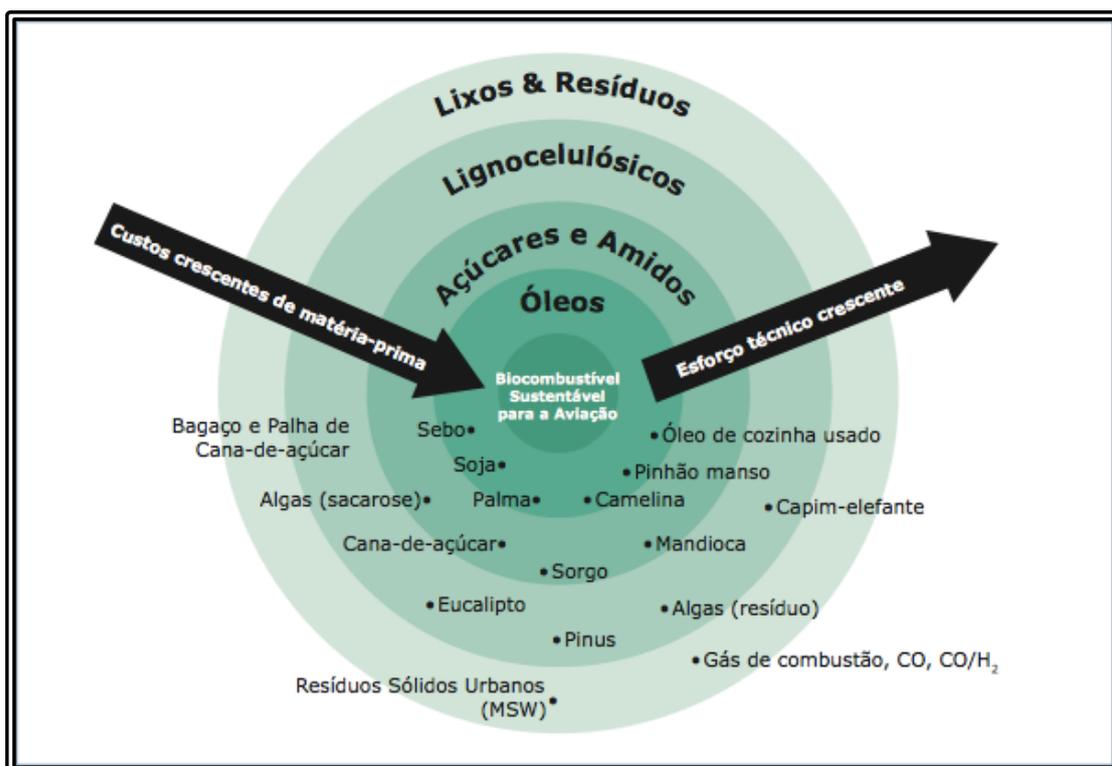
A projeção para o querosene de aviação é o aumento do preço, nos EUA, para as próximas décadas, tanto um cenário bom ou ruim, conforme mostrado na Figura 26. A consequência disso é a busca por combustíveis alternativos aos quais seja aplicado o conceito de sustentabilidade (IATA RAF, 2013).



(Fonte: IATA RAF, 2013)

Figura 26: Projeção do preço do combustível convencional de aviação nos EUA.

Contudo, a produção desses combustíveis alternativos para aviação ainda acontece em pequenas quantidades. A escolha do processo e da matéria-prima para a produção varia de acordo com os custos operacionais, ou seja, quanto mais cara a matéria-prima, menos cara é a rota tecnológica de conversão para biocombustível (PVBAB, 2013), como mostrado na Figura 27.



(Fonte: PVBAB, 2013)

Figura 27: Custo de produção do biocombustível para aviação.

A lignocelulose é uma das matérias-primas mais baratas, contudo os custos operacionais como a sua conversão em gás de síntese, bio-óleo e biocarvão exigem equipamentos caros, além de condições operacionais severas. A hidrólise enzimática da lignocelulose não requer equipamentos caros, mas, o processo é lento e há necessidade de enzimas mais baratas e eficazes. O processo HEFA já é difundido comercialmente, contudo os custos das matérias-primas são mais elevados em relação à matéria-prima fóssil (PVBAB, 2013).

A Tabela 9 mostra o preço estimado, das matérias-primas relacionadas aos processos de Fischer-Tropsch (FT), Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (HEFA) e Álcool para combustível de aviação (ATJ). Essa estimativa mostra que, pelo preço médio, o custo do processo HEFA é mais barato relativo aos outros e dentre as matérias-primas, a mais barata é a *yellow grease*.

Tabela 9: Preço estimado dos combustíveis alternativos derivados de diferentes matérias-primas e processos

Tecnologia	Matéria-Prima	Estimativa de preço mínimo de venda		
		Baixo (\$/L)	Médio (\$/L)	Alto (\$/L)
HRJ/HEFA	óleo de soja	1.16	1.20	1.27
	Sebo	1.05	1.09	1.16
	Yellow grease	0.88	0.92	0.99
FT	Gás Natural	0.77	1.03	1.28
	Carvão	0.87	1.17	1.97
	Switchgrass	1.42	1.97	2.52
ATJ	Cana-de-açúcar	0.61	1.37	2.34
	Grão de milho	0.71	1.57	3.65
	Switchgrass	1.09	2.01	6.28

(Fonte: IATA RAF, 2013)

A Tabela 10 mostra os processos usados, pelo exército do EUA, para a produção de combustível alternativo pelas rotas Fischer-Tropsh (FT), Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (HEFA), Álcool para combustível de aviação (ATJ), Fermentação de Açúcares para Hidrocarbonetos (DSH) e Celulósico Depolimerizado Hidrotratado (HDCD), relacionando as suas quantidades e os preços mínimo, médio e máximo no período entre 2007-2012. Pela análise do custo médio, o preço por litro da síntese de FT derivado do gás natural e de carvão, se mostrou mais barato em relação aos outros processos.

Tabela 10: Preço dos biocombustíveis feito pelo Departamento de Defesa dos EUA de 2007-2012

Processo	Quantidade (L)	Custo Total (\$)	Custo médio (\$/L)	Min (\$/L)	Max (\$/L)
HRJ/HEFA	4.108.428	41.534.620	10.11	7.07	39.37
FT	2.763.050	2.745.650	0.99	0.90	1.85
ATJ	352.005	5.487.000	15.59	15.59	15.59
DSH	162.755	1.106.390	6.80	6.80	6.80
HDC-D	24.603	57.525	2.34	2.34	2.34

(Fonte: Adaptado do IATA RAF, 2013)

## 4. METODOLOGIA

A metodologia usada para este trabalho foi dividida em quatro etapas:

- Pesquisa bibliográfica que visa a contextualizar o tema.
- Planejamento e estratégia de pesquisa para a prospecção tecnológica.
- Pesquisa nas bases de dados.
- Análise dos resultados.

Na primeira etapa foi feita uma avaliação inicial o tema, a partir de reportagens, entrevistas, relatórios. Para isto, foram visitados sites de economia, aeronáutica, universidades, empresas e governo, com a intenção de conhecer a situação atual do desenvolvimento e a utilização do bioquerosene no mundo.

Na segunda etapa foi realizado o planejamento da pesquisa bibliográfica sobre o assunto, onde foram pesquisados artigos e patentes. Não foram pesquisados livros, por se tratar de um assunto recente, sendo os artigos e patentes mais indicados tecnicamente para uma avaliação do tema. O objetivo foi fazer uma análise mais ampla como dos países que estão produzindo o biocombustível e as publicações feitas por ano. Sendo assim, para a busca de artigos foram selecionadas as bases *Science Direct*, *Scielo* e *Web of Science*, enquanto que, para a pesquisa de patentes, foram utilizadas as bases *Espacenet Patent Search*, *USPTO* e *Patentscope*.

Primeiramente foram pesquisados artigos, em busca avançada, com as palavras-chaves “Renewable Jet fuel”, “Bio Jet fuel”, “Biokerosene” e “Bio-kerosene” para o período compreendido entre 2004-2014. A escolha dessas palavras-chaves teve por objetivo pesquisar, de modo mais amplo, os biocombustíveis para aviação. O campo de pesquisa foi direcionado para todas as áreas de conhecimento (ver Figura 28).

Os artigos selecionados para a análise da prospecção tecnológica estão relacionados de acordo com a abordagem do bioquerosene, excluindo-se eventuais repetições que apareceram nas bases estudadas. A definição de bioquerosene usada nesse trabalho está de acordo com a Resolução ANP N°20 de 24.06.2013, onde esse combustível, cujas

características são semelhantes ao querosene de aviação e pode ser misturado ao QAV-1 em até 50% em volume, tem origem em matérias-primas renováveis. Os processos definidos para a sua obtenção são FT SPK e HEFA.

As patentes foram avaliadas seguindo a mesma metodologia descrita para os artigos (ver Figura 29).

Dentro desse universo de artigos e patentes selecionados foi realizada a análise macro, meso e micro sobre o tema.

Na terceira etapa, os artigos foram reunidos e organizados na forma de planilha no Microsoft Excel em quatro principais colunas: artigos selecionados, macro, meso e micro. Os parâmetros atribuídos a essas colunas foram: título, país (es), ano, revista, resumo, centro de pesquisa/universidade, empresa, perfil da empresa, governo, tecnologia, economia e mercado, como mostrado na Figura 30. Já as patentes foram organizadas no mesmo formato, entretanto com os seguintes parâmetros: título, resumo, país depositante, autor, requerente, período, setor, tipo, objetivo e processos, apresentado na Figura 31.

Na quarta etapa, a partir dos resultados elaborados nas planilhas, foram produzidos gráficos que são analisados.

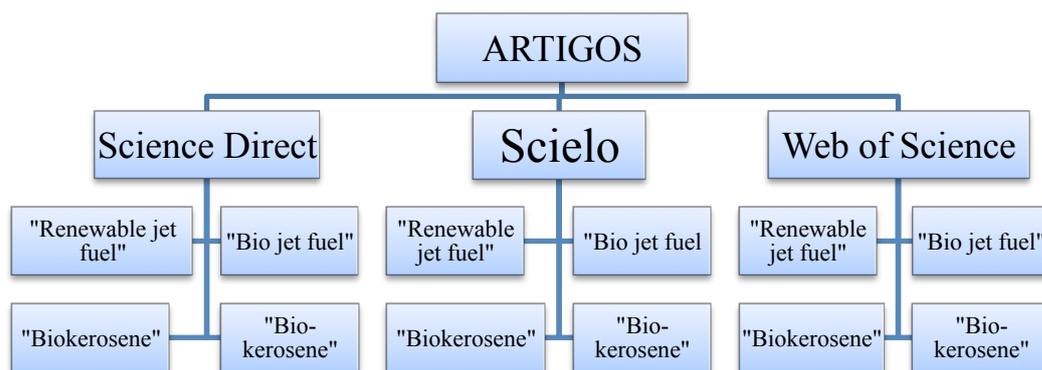


Figura 28: Método de pesquisa de artigos.

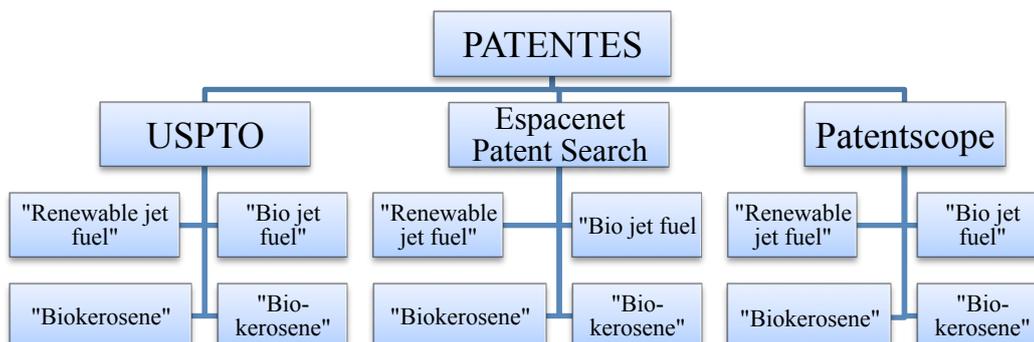


Figura 29: Método de pesquisa de patentes.

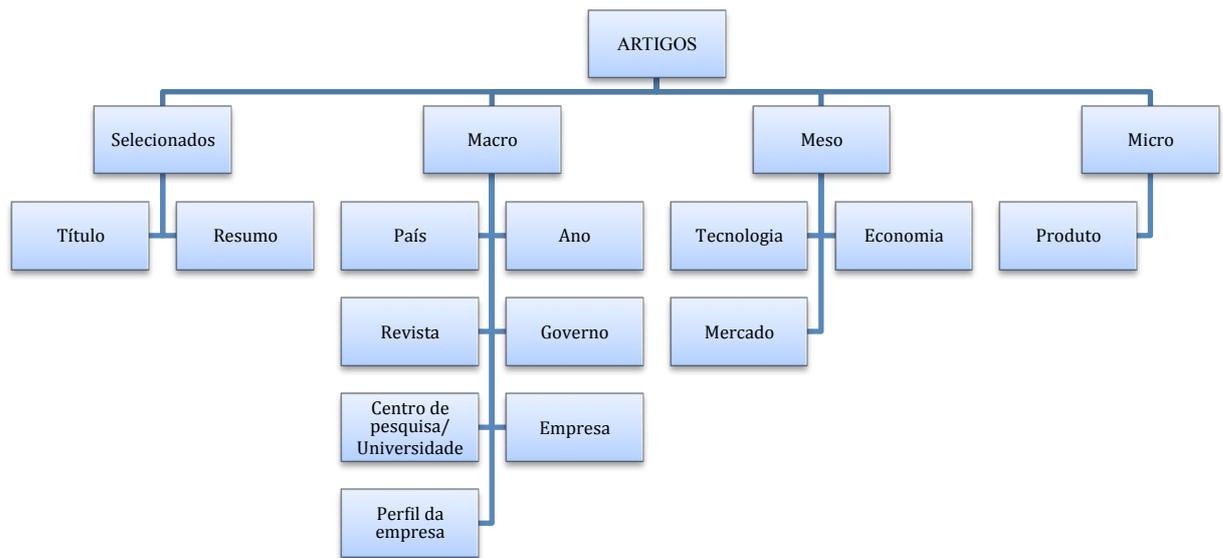


Figura 30: Método de elaboração de artigos no excel.

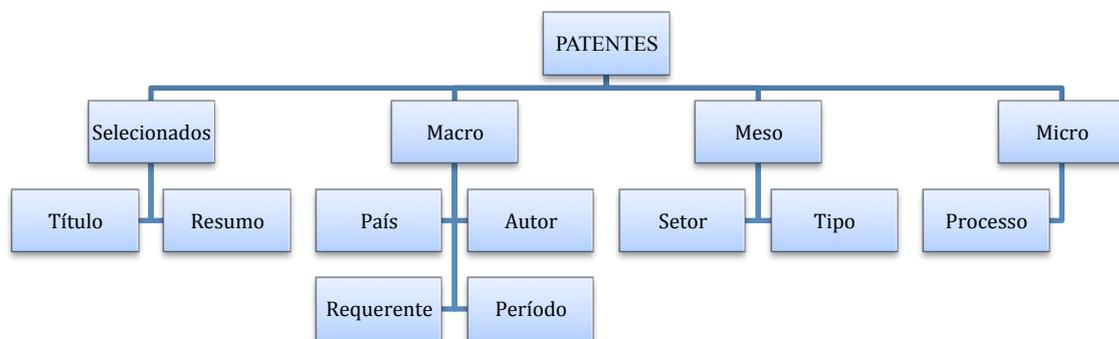


Figura 31: Método de elaboração de patentes no excel.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultados das bases

Os resultados das pesquisas dos artigos nas bases selecionadas com as palavras-chaves estão descritos na Tabela 11. De acordo com a pesquisa, a base *Scielo* se mostrou pouco relevante ao assunto, já que é uma base que abrange periódicos científicos de poucos países e mais voltados para a América Latina, ao contrário das bases *Science Direct* e *Web of Science*, as quais os resultados foram mais expressivos por terem periódicos de vários países, principalmente dos países mais desenvolvidos e com tradição em publicações. Contudo, o número de artigos sobre o tema ainda é pouco expressiva.

Tabela 11: Dados das bases de pesquisa de artigos

Palavra-chave/ Base	Science Direct	Scielo	Web of Science
Renewable Jet Fuel	27	0	31
Bio Jet fuel	22	0	15
Biokerosene	11	1	12
Bio-kerosene	15	0	12

Foram selecionados 24 artigos (Anexo B) para o estudo da prospecção tecnológica do bioquerosene como combustível de aviação. Essa seleção foi embasada na leitura dos resumos e na eliminação de artigos que estavam repetidos nas próprias bases ou em bases diferentes. Os artigos escolhidos foram os que utilizaram matérias-primas renováveis, as rotas FT e/ou HEFA com o objetivo de analisá-los de acordo com a definição usada para bioquerosene na Resolução ANP N°20 de 24.06.2013. Apesar desse direcionamento, outras rotas e produtos foram obtidos em alguns artigos.

O resultado da pesquisa para as patentes usando as bases selecionadas, conforme mostrado na Tabela 12, seguiu o mesmo critério usado anteriormente para os artigos.

Tabela 12: Dados das bases de pesquisa de patentes

Palavra-chave/ Base	USPTO	EpacenetPatentSearch	Patentscope
Renewable Jet Fuel	17	10	52
Biojetfuel	9	0	0
Biokerosene	2	4	3
Bio-kerosene	2	0	1

Com esses resultados obtidos foi feita uma seleção de 12 patentes (Anexo C) e os escolhidos seguiram o mesmo critério que a seleção dos artigos. Apesar disso, outras rotas e produtos foram obtidos em algumas patentes.

A partir desse universo selecionado de artigos e patentes foi realizada a prospecção tecnológica.

## **5.2. Análise dos artigos**

### **5.2.1 Análise macro**

Conforme apresentado na Figura 30, a análise a nível macro foi realizada para se determinar a distribuição de artigos por tipo de revista, quantidade de artigos por ano, países executores da pesquisa e o perfil dos publicantes, ou seja, universidades, governos ou empresas.

A Figura 32 mostra a distribuição desses artigos por ano. O tema bioquerosene para aviação é recente e, apesar da pesquisa ter sido feita para um período de 10 anos (2004-2014), os resultados mostraram que as publicações só começaram a surgir a partir de 2007. A quantidade de publicações ainda é pouco expressiva, contudo, pode-se observar que está em fase de ascensão, especialmente nos últimos 4 anos. Os resultados obtidos para o ano de 2014 são relativos ao primeiro semestre.

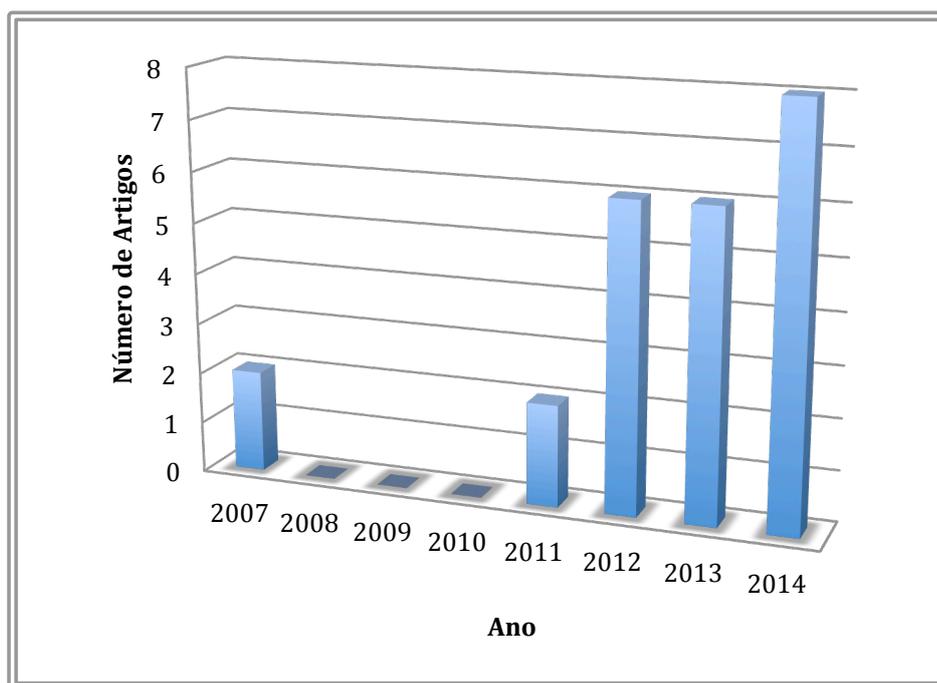


Figura 32: Número de artigos publicados por ano.

A Figura 33 e a Tabela 13 mostram a segmentação das revistas onde esses artigos foram publicados. Com o maior percentual, a *Fuel* teve 4 artigos, seguido da *Proceedings of the Combustion Institute* e *Combustion and Flame* com 2 artigos cada. As classificadas como outras são revistas, que publicaram 1 artigo, representam um percentual de 67%. Isso mostra que o tema é abordado em várias revistas.

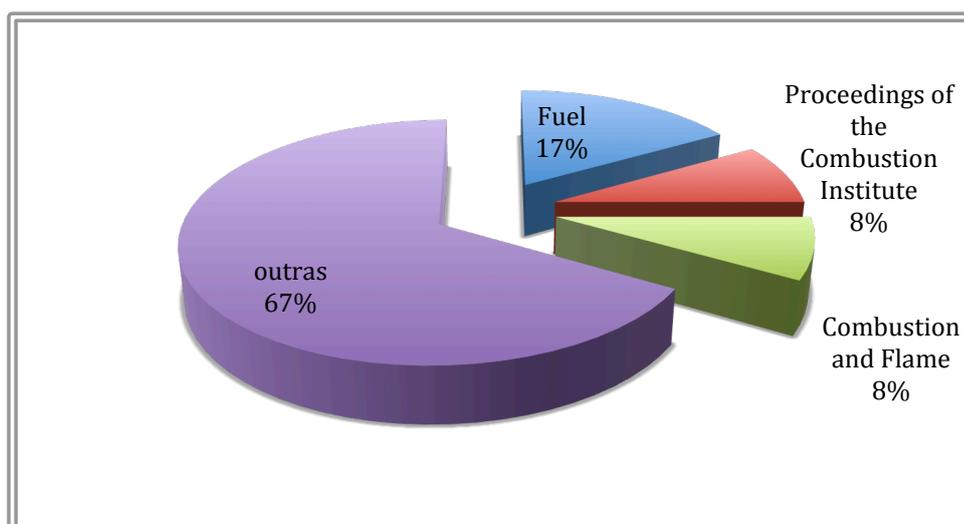


Figura 33: Porcentagem de artigos publicados por revistas.

Tabela 13: Distribuição de artigos publicados por revistas

REVISTAS	NÚMERO DE ARTIGOS
Fuel	4
Atmospheric Environment	1
Applied Energy	1
Proceedings of the Combustion Institute	2
Combustion and Flame	2
Third European Combustion Meeting EMC	1
The Journal of Physical Chemistry	1
Springer	1
Energy & Fuels	1
Chemical Engineering and Processing	1
Transportation Research	1
Renewable and Sustainable Energy Reviews	1
Current Opinion in Biotechnology	1
Science of the Total Environment	1
Transport Policy	1
Environmental Innovation and Societal Transitions	1
Journal of Air Transport Management	1
Bioresource Tecnology	1

Na distribuição dessas publicações por países, a Figura 34 e a Tabela 14 mostram que a maior concentração, com 34%, está nos EUA seguido do Reino Unido com 15%. Uma explicação para isto é o fato de serem regiões desenvolvidas economicamente, terem uma tradição de desenvolvimento tecnológico na indústria da aviação e tráfego aéreo muito intenso.

Outros países como França, Alemanha, Japão e Espanha que também são desenvolvidos, apesar de em menor porcentual, se fazem presente nessa análise dando início ao desenvolvimento desses combustíveis. Contudo, os outros países, com menor representatividade, apresentaram contribuições para a pesquisa e um potencial para desenvolver o tema, já que a projeção para o futuro é a implantação cada vez mais solidificada de biocombustíveis na indústria da aviação, além de novos países e pesquisas serem integradas futuramente, assim como aconteceu com os biocombustíveis destinados a outros setores.

Poucas parcerias desenvolvidas para a publicação de artigos, apenas a do Japão, Indonésia e Vietnan.

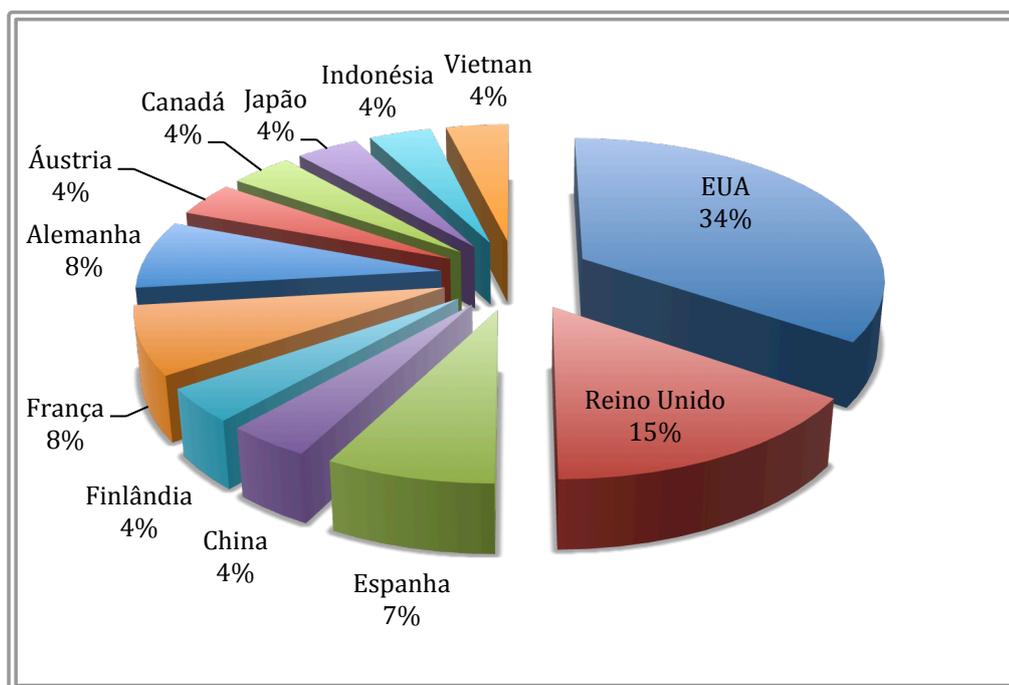


Figura 34: Porcentagem de artigos publicados por países.

Tabela 14: Distribuição de países por número de artigos publicados

PAÍSES	NÚMERO DE ARTIGOS
EUA	9
Reino Unido	4
Espanha	2
China	1
Finlândia	1
França	2
Alemanha	2
Áustria	1
Canadá	1
Japão	1
Indonésia	1
Vietnam	1

O perfil dos autores mostra que a maior parte dos trabalhos de pesquisas está sendo desenvolvida em centros de pesquisas/universidades, seguido de organismos governamentais e empresas, como apresentado na Figura 35 e na Tabela 15, além de parcerias realizadas, porém em quantidade pequenas. Vale destacar que o entrosamento desses três setores é fundamental para o desenvolvimento dos biocombustíveis em geral. A exemplo desse cenário, no Brasil, existe a parceria recente da Boeing, Embraer, FAPESP e Unicamp que em 2013 lançaram um plano de ação com o objetivo de se avaliar a situação dos biocombustíveis para aviação no Brasil. A conclusão é que o país tem um grande potencial para o desenvolvimento do bioquerosene, desde a produção das matérias-primas até a sua implementação no setor da aviação (PVBAB,2013).

Tabela 15: Número de artigos por setor

SETOR	NÚMERO DE ARTIGOS
Centro de Pesquisa/ Universidades	21
Empresa	2
Governo	5

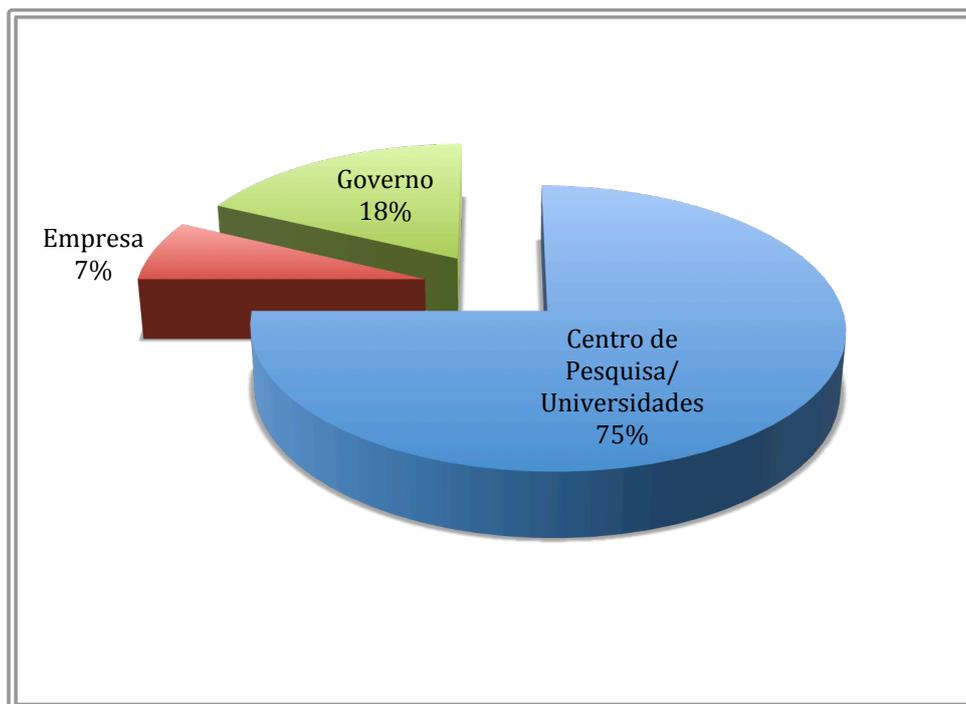


Figura 35: Porcentagem de publicantes de artigos por setor.

### 5.2.2 Análise meso

Na análise meso os artigos foram classificados por assuntos abordados na publicação: tecnologia, econômico e mercado. Artigos de tecnologia são aqueles que abordam os processos para a produção do bioquerosene, testes realizados em escala piloto com o biocombustível já pronto, com o objetivo de se analisar as suas propriedades química e física, emissões de materiais particulados. Artigos de economia são aqueles que abordam os custos de implantação do bioquerosene e de suas emissões. Artigos de mercado são aqueles que analisam os mercados de matérias-primas e outros fatores que afetam os biocombustíveis para aviação como legislação, políticas nacionais e internacionais.

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 36 e Tabela 16, onde 88% dos artigos falam sobre produtos, 8% de mercado e 4% sobre economia. Isso significa que o bioquerosene ainda se encontra em fase de desenvolvimento, ou seja, trabalhos em escala piloto, análise de suas propriedades e emissões. Os setores mercadológico e econômico são pouco significativos e precisam ser mais explorados.

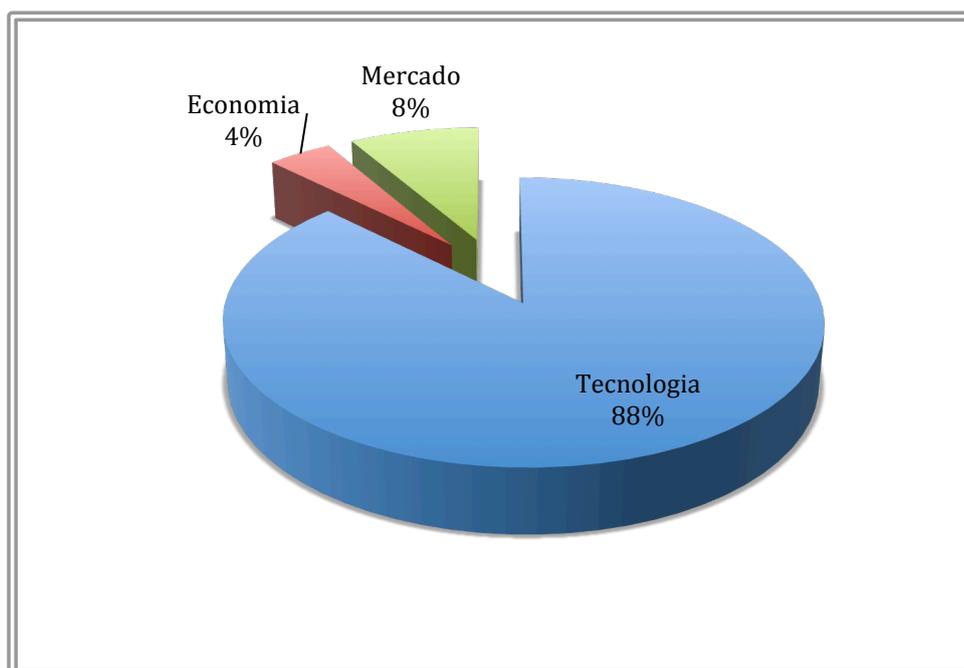


Figura 36: Porcentagem das áreas abordadas nos artigos.

Tabela 16: Número de publicações por área abordada nos artigos

ÁREA	NÚMERO DE ARTIGOS
Tecnologia	21
Economia	1
Mercado	2

### 5.2.3 Análise micro

Na análise micro foi feita a abordagem dos processos, seja dos artigos que relatam toda a rota de obtenção do combustível alternativo ou daqueles que analisam as características do combustível já pronto a partir dessas rotas. Os processos foram divididos em :

- Fischer-Tropsch e a integração com os processos carvão para líquido (CtL), biomassa para líquido (BtL) e gás para líquido (GtL).
- HEFA (Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos).

Em alguns artigos os dois processos eram retratados. O processo HEFA é citado em 57% dos artigos e o FT em 43%, mostrado na Figura 37. Isso significa que há um equilíbrio no uso desses dois processos, já que a quantidade de artigos trabalhados é pequena, como apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Número de artigos por processo citados

PROCESSO	NÚMERO DE ARTIGOS
HEFA	20
FT	15

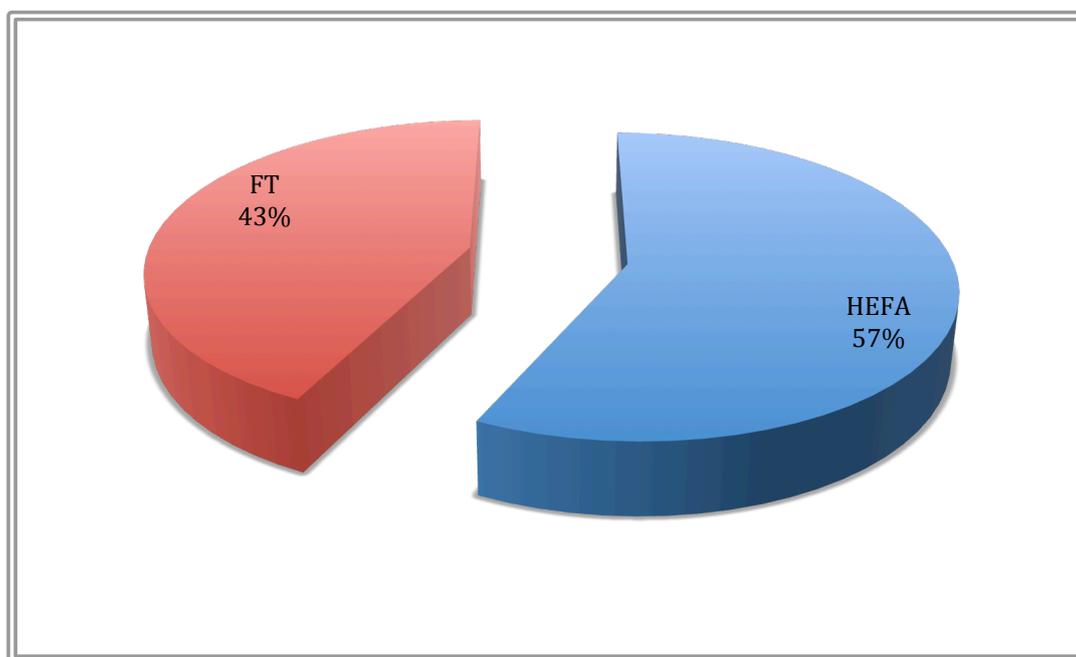


Figura 37: Porcentagem de processo citados nos artigos.

### 5.3 Análise das patentes

#### 5.3.1 Análise macro

A análise macro foi realizada para determinar a distribuição de patentes por países, por ano e por tipos de autores depositantes.

Os dados apresentados na Figura 38 mostram que o assunto é recente, já que a primeira patente data de 2010. Apesar de haver um aparente decréscimo no número de depósitos, o ano de 2014 foi analisado apenas até o primeiro semestre.

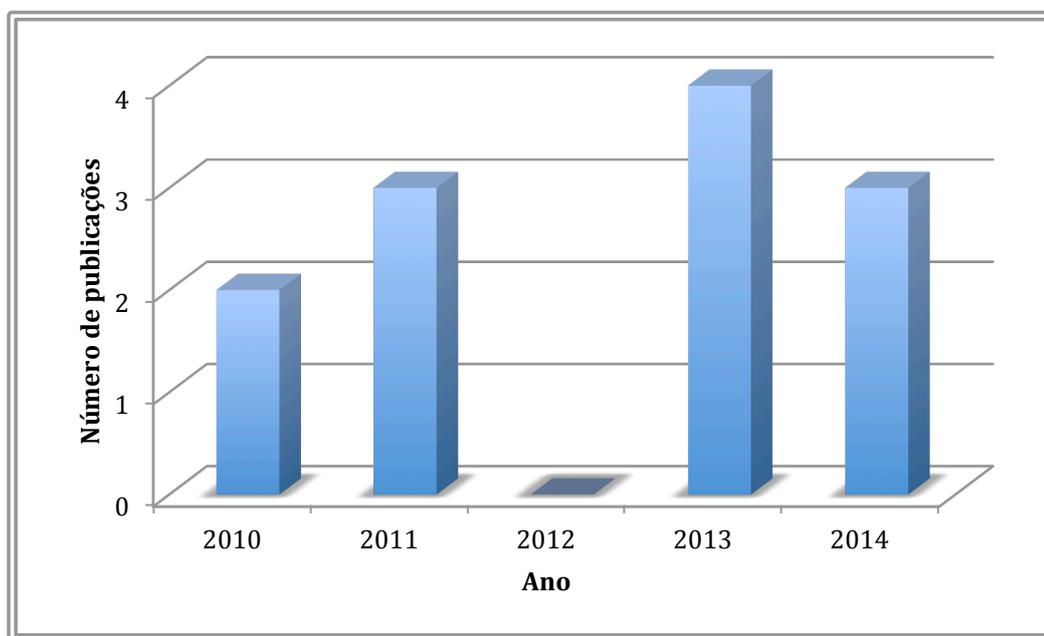


Figura 38: Número de patentes depositadas por ano.

Os países envolvidos no depósito dessas patentes, conforme mostrado na Figura 39 e Tabela 18, ainda não são muitos e o de maior representatividade, assim como nos artigos, é o EUA, por ser fabricante de aviões, como os da Boeing, grande produtor agrícola e ter um intenso tráfego aéreo. Já o Brasil que, apesar de não ter aparecido em artigos publicados na análise anterior, já depositou 2 patentes, enquanto que os outros países, França, Noruega e Holanda, têm uma patente depositada cada.

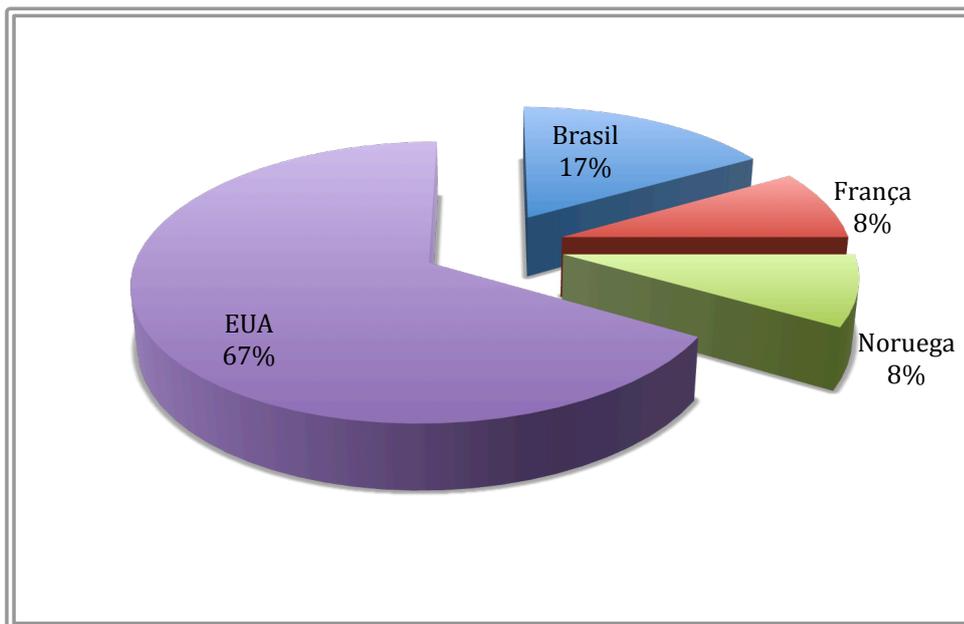


Figura 39 :Porcentagem de países no depósito de patentes.

Tabela 18: Distribuição de patentes por países

PAÍS	NÚMERO DE PATENTE
Brasil	2
França	1
Noruega	1
EUA	8

Em relação ao perfil dos depositantes, em 58%, são as empresas como a Solazyme e a Petrobras, os outros 20% são as universidades e os próprios inventores, como mostrado na Figura 41 e Tabela 19. Neste caso, nenhuma parceria foi identificada.

Tabela 19: Número de patentes por tipo de depositante

DEPOSITANTE	NÚMERO DE PATENTE
Empresa	7
Universidade	3
Inventor	2

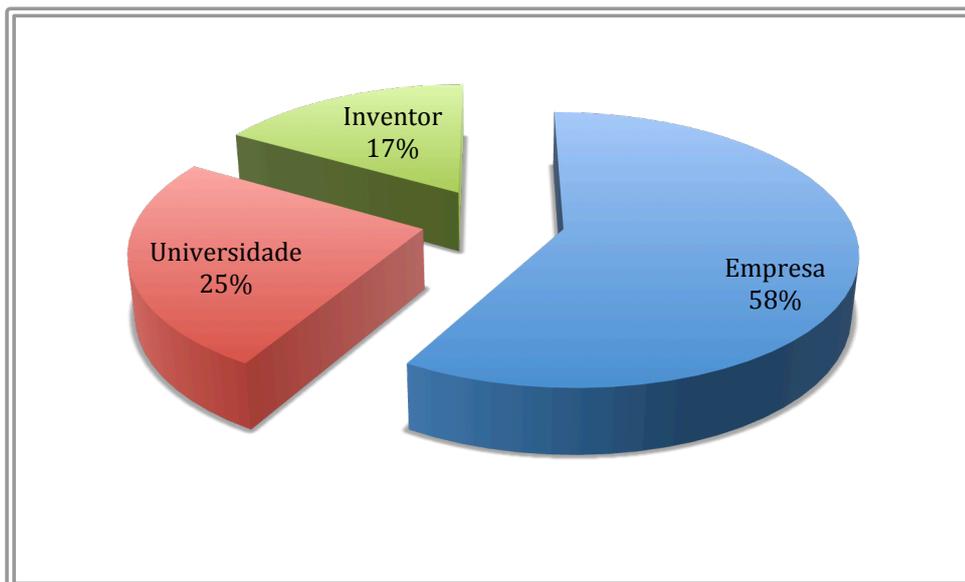


Figura 40: Porcentagem de patentes por tipo de depositante.

### 5.3.2 *Análise meso*

As patentes na análise meso foram avaliadas de acordo com dois critérios: perfil das patentes, onde foi identificado o setor energético, ou seja, setor de produção do combustível.

Para essa classificação, 100% foram caracterizadas pelo processo, quando o objetivo principal da patente era propor uma rota para produção de bioquerosene.

### 5.3.3 *Análise micro*

Na análise micro, escolheu-se estudar os processos que foram desenvolvidos nas patentes. Esses foram divididos em Fischer-Tropsch (FT) e Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos (HEFA), como mostrado na Figura 41 e Tabela 20. A maioria, 79%, trataram da rota HEFA, e, 21%, da síntese de FT. Apesar do número de patentes estudadas não ser significativa, já que o tema é recente, pode-se observar que o processo mais estudado é o HEFA.

Tabela 20: Número de patentes por tipo de processo

PROCESSO	NÚMERO DE PATENTE
HEFA	11
FT	3

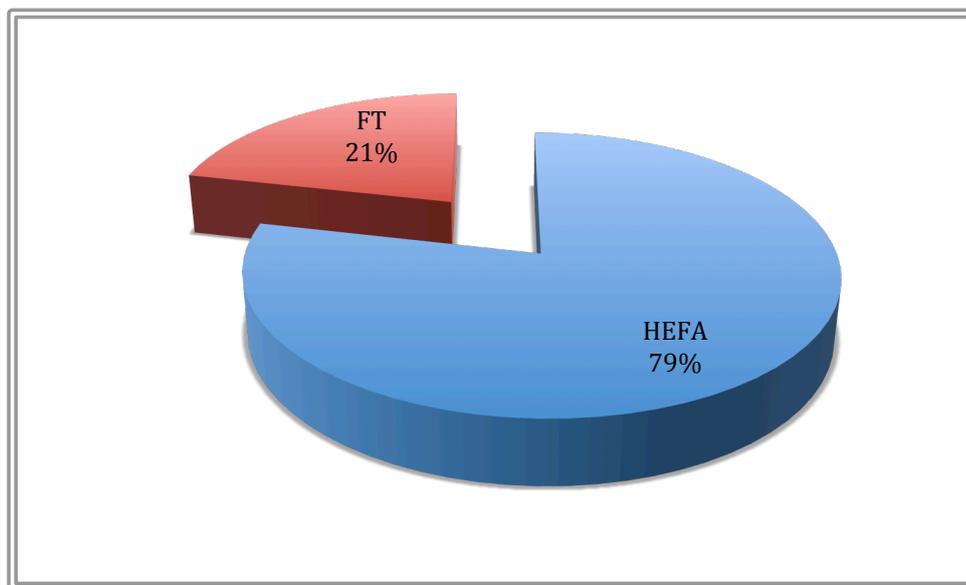


Figura 41: Porcentagem de processos desenvolvidos nas patentes.

## 6. CONCLUSÃO

A partir do que foi visto na análise de prospecção tecnológica dos artigos e patentes pode-se concluir que:

- O bioquerosene é viável tecnicamente, tanto que já existem normas internacionais, ASTM, e nacionais, ANP, da possibilidade em se misturar o biocombustível com o querosene usado na aviação em até 50%, em volume, usando os processos Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos (HEFA) e Fischer-Tropsch (FT). Alguns testes em voo já foram realizados com sucesso. Já a viabilidade econômica ainda não é uma realidade.
- Pode-se observar nos outros artigos e patentes não usados para se fazer esse estudo, que outros processos estão surgindo para a produção de biocombustível de aviação como a fermentação para a produção de álcool como combustível. Contudo, ainda se encontra em processo de análise, pela ASTM, para a sua viabilidade técnica.
- A pesquisa realizada nesse trabalho mostrou que a quantidade de publicações de artigos e depósito de patentes ainda é pequena, devido ao tema ser recente. Contudo, a tendência mostrada na revisão bibliográfica é que esses números aumentem.
- Nas análises feitas, tanto dos artigos quanto das patentes, o país que mais tem investido no bioquerosene é o EUA. Isso pode ser explicado pelo seu intenso tráfego aéreo, além de ser um país produtor de matérias-primas.
- O processo mais estudado é o HEFA.

Por tudo apresentado, o desenvolvimento do bioquerosene é promissor e outras rotas, para a sua produção, estão surgindo. Contudo, algumas sugestões podem ser feitas, como:

- Ampliar o escopo da pesquisa incluindo outros tipos de bioquerosene obtidos por outras rotas.
- Fazer uma abordagem do tema em relação aos desafios legislativo e políticos da sua implementação.
- Realizar um estudos desses processos em laboratório com o objetivo de avaliar novas matérias-primas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- \_; Global Market Forecast (GMF), Future Journeys 2012-2032; 2013. Disponível em <http://www.airbus.com/company/market/forecast/>, acessado em 04/04/2014.
- Abhari; Ramin , Tomlinson; Lynn , Havlik; Peter, Jannasch; Nathan, inventors, Process for co-producing jet fuel and LPG from renewable sources. Patente do EUA; US 7,846,323 B2, 7 de dezembro de 2010.
- Allen, C.; Toulson, E.; Edwards, T.; Lee, T., Application of a novel charge preparation approach to testing the autoignition characteristics of JP-8 and camelinahydroprocessed renewable jet fuel in a rapid compression machine, *Combustion and Flame* 159 (2012), 2780-2788.
- Anderson, J.D.Jr., *Fundamentals of aerodynamics*, 2010 ,5th Edition.
- Anuário do Transporte Aéreo, dados estatísticos e econômicos de 2012. Disponível [http://www.portalbrasil.net/2012/diversos/anuario\\_transporte\\_aereo\\_anac\\_2012.pdf](http://www.portalbrasil.net/2012/diversos/anuario_transporte_aereo_anac_2012.pdf), acessado em 03/05/2014.
- AP Anac.pdf , [www.anac.gov.br](http://www.anac.gov.br), acessado em 07/02/2014.
- Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (AIAB). pdf, [www.aiab.org.br](http://www.aiab.org.br), acessado em 04/03/2014.
- Aviação brasileira Agenda 2020–ABEAR.pdf, <http://www.abear.com.br/uploads/pdf/releases/agenda2020.pdf>, acessado em 07/02/2014.
- Aviation and the global atmosphere, [www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf), acessado em 15/05/2014.
- Baroutian, S.; Aroua, M.K.; Raman, A.A.A.; Shafie, A.; Ismail, R.A.; Hamdan, H., Blended aviation biofuel from esterified *Jatropha curcas* and waste vegetable oils, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 44 (2013), 911-916.
- Biocombustíveis aeronáuticos.pdf , [www.cgee.org.br](http://www.cgee.org.br), acessado em 08/02/2014.
- Bioquerosene ABPPM, 2010.pdf, [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br), acessado em 08/02/2014.
- Blakey, S.; Rye, L.; Wilson, C.W., Aviation gas turbine alternative fuels: A review, *Proceedings of the Combustion Institute*, 33 (2011), 2863-2885.
- Bradin; David, inventor, Process for producing a renewable fuel in the gasoline or jet fuel range. Patente do EUA; US 7,928,273 B2, 19 de abril de 2011.
- Características da camelina. Disponível em <http://mybelojardim.com/voce-ja-ouviu-falar-da-camelina-para-producao-de-bio-querosene-de-aviacao/>, acessado em 01/06/2014.

- Características do pinhão-manso. Disponível em <http://istoepiaui.blogspot.com.br/2013/03/o-voo-da-jatropha.html>, acessado em 01/06/2014.
- Chuck, C. J.; Donnelly, J., The compatibility of potential bioderived fuels with Jet A-1 aviation kerosene, *Applied Energy* 118 (2014), 83-91.
- Comparação do bioquerosene e querosene, pdf. Disponível em [http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/07/056-060\\_Bioquerosene\\_2091.pdf](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/07/056-060_Bioquerosene_2091.pdf), acessado em 20/04/2014.
- Diesel para aviação. Disponível em: <http://culturaaeronautica.blogspot.com.br/2010/03/aviacao-leve-esta-chegando-hora-do.html> motores diesel, acessado em 15/06/2014.
- Estudo do setor de Transporte Aéreo do Brasil, BNDES, [www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br), acessado em 03/03/2014.
- Evolução do mercado de combustíveis e derivados: 2000-2012. pdf, [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br), acessado em 07/02/2014.
- Figueiredo, L.A.G., Motores e combustíveis de aviação, 2013. [http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveis-de-aviacao\\_808.html](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveis-de-aviacao_808.html). Acessado em: 03/04/2014.
- Gaïl, S.; Dagaut, P., Chemical Kinetic Study of a Biofuel Additive on Jet-A1 Combustion, *J.Phys.Chem. A* 2007a, 111, 3992-4000.
- Gaïl, S.; Dagaut, P., Kinetic study of aviation fuels oxidation in a JSR: Jet-A1 and Bio-Kerosene, Third European Combustion Meeting ECM 2007 b.
- Hileman, J. I.; Stratton, R. W., Alternative jet fuel feasibility, *Transport Policy* (2014), v 34, 52:62.
- Hui, X.; Kumar, K.; Sung, C-J.; Edwards, T.; Gardner, D., Experimental studies on the combustion characteristics of alternative jet fuels, *Fuel* 98 (2012), 176-182.
- IATA 2013 Report on Alternative Fuels, 8th Edition, [www.iata.org](http://www.iata.org), acessado em 03/03/2014.
- Kallio, P.; Pásztor, A.; Akhtar, M. K.; Jones, P. R., Renewable jet fuel, *Current Opinion in Biotechnology* (2014), 26:50-55.
- Köhler, J.; Walz, R.; Weidemann, F. M.; Thedieck, B., Lead markets in 2nd generation biofuels for aviation: A comparison of Germany, Brazil and the USA, *Environmental Innovation and Societal Transitions* 10 (2014), 59-76.
- Kupfer D., Tigre P.; Capítulo 2: Prospecção Tecnológica; 2004.

Lee, D.S.; Pitari, G.; Grewe, V.; Gierens, K.; Penner, J.E.; Petzold, A.; Prather, M.J.; Schumann, U.; Bais A.; Berntsen, T.; Iachetti, D.; Lim, L.L.; Sausen, R., Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation, *Atmospheric Environment* 44 (2010) 4678-4734.

Li, H.; Altaher, M.A.; Wilson, C. W.; Blakey, S.; Chung, W.; Rye, L., Quantification of aldehydes emissions from alternative and renewable aviation fuels using a gas turbine engine, *Atmospheric Environment* 84 (2014), 373-379.

Liach, J. Aviação leve: diesel, 2010. Disponível em <http://culturaaeronautica.blogspot.com.br/2010/03/aviacao-leve-esta-chegando-hora-do.html>, acessado em 05/04/2014.

Liu, G.; Yan, B.; Chen, G., Technical review on jet fuel production, *Renewable and Sustainable Energy Review* 25 (2013), 59-70.

Llamas, A.; Al-Lal, A.M.; Hernandez, M.; Lapuerta, M.; Canoira, L., Biokerosene from babaçu and Camelina Oils: Production and Properties of Their Blends with Fossil Kerosene, *Energy Fuels* (2012), 26, 5968-5976.

Llamas, A.; Martinez, M.J.G.; Al-Lal, A.M.; Canoira, L.; Lapuerta, M., Biokerosene from coconut and palm kernel oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene, *Fuel* 102 (2012), 483-490.

MACIEL FILHO RUBENS; DE LIMA DA SILVA NIVEA; BENEDITO BATISTELLA CESAR; WOLF MACIEL MARIA REGINA, inventors, Process for the production of biokerosene by means of integrated route, and biokerosenes thus produced. Patente do Brasil; WO2013138891, 26 de setembro de 2013.

Market Outlook 2012-2031, Embraer Commercial Aviation. Disponível em [http://www.embraercommercialaviation.com/MarketInfo/market\\_outlook\\_2012-2031.pdf](http://www.embraercommercialaviation.com/MarketInfo/market_outlook_2012-2031.pdf), acessado em 30/05/2014.

Mayeur, V.; Hecquet, M.; Demoment, P, inventors, Process for obtaining biokerosene. Patente da França EP2346962 A2, 27 de julho de 2011.

Norma da ASTM para combustíveis alternativos para aviação. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D4054.htm>, acessado em 15/06/2014.

Norma da ASTM para gasolina de aviação. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D910.htm>, acessado em 15/06/2014.

Norma da ASTM para hidrocarbonetos sintetizados. Disponível em: <http://www.astm.org/Standards/D7566.htm>, acessado em 15/06/2014.

Norma da ASTM para o QAV-1. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D1655.htm>, acessado em 15/06/2014.

O bioquerosene no Brasil e no mundo, pdf. Disponível em [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras\\_setoriais/Oleaginosas\\_e\\_biodiesel/9\\_reuniao/Bioquerosene.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Oleaginosas_e_biodiesel/9_reuniao/Bioquerosene.pdf), acessado em 20/04/2014.

O uso de combustíveis alternativos na aviação civil. pdf, [www.anac.gov.br](http://www.anac.gov.br), acessado em 07/02/2014.

Palharini, M.J.A., Motores a reação, editora ASA, 1999/2000, 4ª Edição.

Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil (PVBAB): Plano de ação, Boeing, Embraer, FAPESP, UNICAMP, [www.fapesp.br](http://www.fapesp.br)-, acessado em 20/02/2014.

Processo de produção de biodiesel e bioquerosene, pdf. Disponível em <http://www.dcabr.org.br/download/eventos/eventos-realizados/2011/04.pdf>, acessado em 20/05/2014.

Projeções do Setor Aéreo 2013-2017, pdf. Disponível em <http://www.iata.org/publications/Pages/airline-industry-forecast.aspx>, acessado em 03/05/2014.

Querosene de aviação, Petrobras 2014, <http://www.br.com.br/> . Acessado em: 05/04/2014.

Requisitos-Control e certificação do bioquerosene. pdf, [www.dcabr.org.br](http://www.dcabr.org.br), acessado em 04/03/2014.

Resolução da ANP para bioquerosene para aviação. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2013/junho/ranp%2020%20-%202013.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$qs=\\$x=](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2013/junho/ranp%2020%20-%202013.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$qs=$x=), acessado em 15/06/2014.

Resolução da ANP para gasolina de aviação. Disponível em [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2009/fevereiro/ranp%205%20-%202009.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/fevereiro/ranp%205%20-%202009.xml) gasolina de aviação (ANP), acessado em 15/06/2014.

Resolução da ANP para o QAV-1. Disponível em [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2009/dezembro/ranp%2037%20-%202009.xml?fn=document-frameset.htm\\$f=templates\\$3.0](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/dezembro/ranp%2037%20-%202009.xml?fn=document-frameset.htm$f=templates$3.0), acessado em 15/06/2014.

Roberts, IV; William L. , Lamb; H. Henry , Stikeleather; Larry F. , Turner; Timothy L. , inventors, Process for conversion of biomass to fuel. Patente do EUA; US 7,816,570 B2, 19 de outubro de 2010.

Roberts, IV; William L. , Lamb; H. Henry , Stikeleather; Larry F. , Turner; Timothy L. , inventors, Process for conversion of biomass to fuel. Patente do EUA; US 8,350,103 B2, 8 de janeiro de 2013.

RUSEK JOHN J; ZIULKOWSKI JONATHON D; CATANIA PHILIP J; BOWER DONALD L, inventors, Biogenic turbine and diesel fuel, patente do EUA, CN103210067, 17 de julho de 2013.

Rye, L.; Wilson, C., The influence of alternative fuel composition on gas turbine ignition performance, *Fuel* 96 (2012), 277-283.

Santos, Fernando A. Biocombustíveis: Prós e Contras. Disponível em <http://home.utad.pt/~fsantos/pub-fas/Biocombustiveis.pdf>, acessado em 26/05/2014.

Schablitzky, H.W.; Lichtscheidl, J.; Hutter, K.; Hafner, Ch.; Rauch, R.; Hofbauer, H., Hydroprocessing of Fischer-Tropsch biowaxes to second-generation biofuels, *Biomass Conv.Bioref.* (2011) 1:29-37.

THOMM MICHAEL; REMMEREIT Jan, inventors, Productions of biokerosene with hyperthermophilic organisms. Patente da Noruega; WO 2014041437, 03 de março de 2014.

TRIMBUR DONALD E; IM CHUNG-SOON; DILLON HARRISON F; DAY ANTHONY G; FRANKLIN SCOTT; CORAGLIOTTI ANNA, inventors, Renewable Diesel and Jet fuel from Microbial Sources. Patentes do EUA; US 201414184288 , 19 de fevereiro de 2014.

VIDAL VIEIRA JOSE ANTONIO; IURK ROCHA MAURO; LOPES CARVALHO ROBERTO; VIEIRA ALVES MARCELO, inventors, Process for the production of aviation biokerosene and aviation kerosene composition. Patente do Brasil; US2013055624, 7 de março de 2013.

Winchester, N.; McConnachie, D.; Wollersheim, C.; Waitz, I.A., Economic and emissions impacts of renewable fuel goals for aviation in US, *Transportation Research Part A* 58 (2013), 116-128.

## Anexo A – Plantas de Biocombustíveis de Segunda Geração

### Appendix A. 2nd Generation Biofuels Plants

Company/institute	Location	In service date	Capacity tonnes/year
Aalborg University Copenhagen	Kopenhagen/Bornholm, Denmark	2009	11
Abengoa Bioenergia	York, USA	2007	75
Abengoa Bioenergia	Babilafuente, Spain	2008	4000
Abengoa Bioenergia	Arence, France	2013	40,000
Abengoa Bioenergia	Hugoton, USA	2013	75,000
Aemetis	Butte, USA	2008	500
Aliphajet Inc.	San Francisco, USA	2013	230
Amyris Antibioticos	Leon, Spain	2011	–
Amyris Biomin	Piracicaba, Brazil	2010	–
Amyris Paraiso	Brotas, Brazil	2012	–
Amyris Pilot & Demonstration Plant	Campinas, Brazil	2009	–
Amyris Sao Martinho	Pradopolis, Brazil	2013	–
Amyris Tate & Lyle	Decatur, USA	2011	–
Amyris USA	Emeryville, USA	2008	–
Beta Renewables	Rivalta Scrivia, Italy	2009	50
Beta Renewables	Crescentino, Italy	2012	60,000
Bio Gasol	Ballerup, Denmark	2008	–
Bio Gasol	Bornholm, Denmark	2013	4000
BioLiq KIT	Karlsruhe, Germany	2013	608
Biomass CHP plant Gussing	Gussing, Austria	2008	576
BioMCN	Farmsum, Netherlands	2009	200,000
Borregaard AS	Sarpsborg, Norway	2012	110
BP Biofuels	Jennings, USA	2009	4200
Chempolis Bio Refining Plant	Oulu, Finland	2008	5000
Chemrec BioDME	Pitea, Sweden	2011	1800
Chemrec Domsjö und Vallvik Mills Project	Sweden	On hold (ggf. 2014)	300t Bio-DME oder 450t Methanol pro Tag
Choren Industries (on Germany insolvent)	Freiberg, Germany	2009	18 Mio. Liter Sun-Diesel pro Jahr
Clariant/Süd-Chemie	Straubing, Germany	2012	1000
Consortium Groen Gas	Alkmaar, Netherlands	2013	6150
Du Pont	Vonore, USA	2010	750
ECN (Energy Research Center of the Netherlands)	Petten, Netherlands	2008	346
Enerkem	Sheerproke, Canada	2003	–
Enerkem	Westbury, Canada	2009	4000
Enerkem	Edmonton, Canada	2013	30,000
Fiberight LLC	Blairstown, USA	2013	18
Forest BtL Project	Finland	2016	130,000
Göteborg Energi AB	Göteborg, Sweden	2013	11,200
Graal Bio	Brazil	2013	65,000
Greasoline GmbH (von Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology UMSICHT entwickelt)	Oberhausen, Germany	2011	2
GTI (Gas Technology Institute)	Des Plaines, USA	2004	880
GTI (Gas Technology Institute)	Des Plaines, USA	2012	12
Inbicon (DONG Energy)	Kalundborg, Denmark	2009	4300
INEOS Bio	Vero Beach, USA	2013	24,000
Iogen Corporation	Ottawa, Canada	2004	1600
Lanza Tech Inc.	Georgia, USA	2013	15,000
Mascoma Corporation	Rome, USA	2003	500
Neste Oil	Porvoo, Finland	2009	190,000
Neste Oil	Porvoo, Finland	2007	190,000
Neste Oil	Rotterdam, NL	2011	800,000
Neste Oil	Singapore	2010	800,000

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	Hiroshima, Japan	2011	65
Petrobras	Rio de Janeiro, Brazil	2007	270
Petrobras and Blue Sugars Corporation	Upton, USA	2011	700
POET	Scotland, USA	2008	60
POET-DSM Advanced Biofuels	Emmetsburg, USA	2013	75,000
PROCETHOL 2G	Pomacle, France	2011	2700
Research Triangle Institute (RTI)	Research Triangle Park, USA	-	22
SEKAB	Goswinowice, Poland	2014	50,000
SEKAB/EPAB	Örnsköldsvik, Sweden	2004	160
Solena Fuels	Schwedt, Germany	2015	150,000
Tembec Chemical Group	Temiscaming, Canada	2003	13,000
TNO	Zeist, Netherlands	2002	100
TUBITAK	Gebze, Turkey	2013	250
Virent, Inc.	Madison, USA	2009	30
Weyland AS	Bergen, Norway	2010	158
Woodspirit Project (Siemens, Linde, Bio MCN, VS Hanab)	Netherlands	2016	200,000
ZEA Chem Inc.	Boardman, USA	2011	750

(Fonte: Köhler et al., 2014)

## Anexo B – Artigos selecionados

Titulo	Resumo
<p><b>Kinetic study of aviation fuels oxidation in a JSR: Jet-A1 and Bio-Kerosene</b></p>	<p>Bio-diesel has the potential to be used as a "kerosene extender" by blending it with conventional kerosene up to approximately 10% - 20% by volume to produce bio-kerosene. The oxidation of kerosene (Jet-A1) and bio-kerosene (kerosene-rapeseed oil methyl esters 80/20 in mole) was studied experimentally in a jet-stirred reactor at 10 atm and constant residence time (0.5s), over the high temperature range 740-1200 K, and for variable equivalence ratios in the range 0.5-1.5. Concentration profiles of reactants, stable intermediates, and final products were obtained by probe sampling followed by on-line and off-line GC analyses. The oxidation of these fuels in these conditions was modeled using a detailed kinetic reaction mechanism consisting of 2027 reversible reactions and 263 species. The surrogate bio-kerosene model-fuel used consisted of a mixture of n-hexadecane, n-propylcyclohexane, n-propylbenzene, and n-decane. The methyl ester fraction was simply represented by n-hexadecane. The proposed kinetic reaction mechanism used in the modeling yielded a good representation of the kinetics of oxidation of kerosene and bio-kerosene under JSR conditions. The data and the model showed the bio-kerosene (Jet A-1/RME mixture) has a slightly higher reactivity than Jet A-1 whereas no major modification of the products distribution was observed besides the formation of small methyl esters from RME's oxidation.</p>
<p><b>Chemical Kinetic Study of the Effect of a Biofuel Additive on Jet-A1 Combustion</b></p>	<p>The kinetics of oxidation of kerosene Jet A-1 and a kerosene/rapeseed oil methyl ester (RME) mixture (80/20, mol/mol) (biokerosene) was studied experimentally in a jet-stirred reactor at 10 atm and constant residence time, over the temperature range 740-1200 K, and for variable equivalence ratios (0.5-1.5). Concentration profiles of the reactants, stable intermediates, and final products were obtained by probe sampling followed by on-line and off-line gas chromatography analyses. The oxidation of these fuels in these conditions was modeled using a detailed kinetic reaction mechanism consisting of 2027 reversible reactions and 263 species. The surrogate biokerosene model fuel used here consisted of a mixture of n-hexadecane, n-propylcyclohexane, n-propylbenzene, and n-decane, where the long-chain methyl ester fraction was simply represented by n-hexadecane. The proposed kinetic reaction mechanism used in the modeling yielded a good representation of the kinetics of oxidation of kerosene and biokerosene under jet-stirred reactor conditions and of kerosene in a premixed flame. The data and the model showed the biokerosene (Jet A-1/RME mixture) has a slightly higher reactivity than Jet A-1, whereas no major modification of the product distribution was observed besides the formation of small unsaturated methyl esters produced from RME's oxidation. The model predicts no difference in the ignition delays of kerosene and biokerosene. Using the proposed kinetic scheme, the formation of potential soot precursors was studied with particular attention.</p>
<p><b>Hydroprocessing of Fischer-Tropsch biowaxes to second-generation biofuels</b></p>	<p>Upgrading of Fischer-Tropsch (FT) biowaxes to second-generation biofuels via hydroprocessing is the final step for increasing the fuel amount of the overall biomass conversion route: gasification of lignocellulosic biomass, FT synthesis, and hydroprocessing. The typical FT product portfolio consists of high molecular weight paraffinic waxes as the main product and FT fuels in the diesel and naphtha boiling range. OMV's objective and contribution to the project focus on achieving coprocessing of FT biowaxes with fossil feedstock using existing hydrotreating plants of crude oil refineries. Various test runs have been examined with a conventional refining catalyst under mild conditions (380-390°C, 5.8 MPa; WHSV, 0.7-1.3 h<sup>-1</sup>) in a pilot plant. Pure FT biowax is converted to gases, fuels, and an oil/waxy residue in a fixed-bed reactor with a porous catalyst layer technology. The presence of hydrogen in the reaction chamber reduces the fast deactivation of the catalyst caused by the formation of a coke layer around the catalyst particle surface and saturates cracked hydrocarbon fragments. Another approach is the creation of synthetic biodiesel components with excellent fuel properties for premium fuel application. Basically, premium diesel fuel differs from standard diesel quality by cetane number and cold flow properties. Hydroprocessed synthetic biodiesel (HPFT diesel) has compared to conventional diesel advantages in many aspects. Depending on the catalyst selected, premium diesel quality can be obtained by shifting cold flow operability properties of HPFT fuels to a range capable even under extreme cold conditions. In addition, a high-quality kerosene fraction is obtained to create bio jet fuels with an extremely deep freezing point, as low as -80°C. The isomerization degree, as well as the carbon number distribution of high paraffinic profile, and the branching degree have a major impact on the cold flow properties and cetane number. FT diesel has, compared to HPFT diesel, a slightly higher derived cetane number (DCN&gt;83) and a cloud point of -9°C, whereas HPFT diesel reaches values as low as -60°C. Although the HPFT naphtha obtained consists of high amounts of isoparaffins, the RON/ MON values are comparable to fossil straight-run naphtha. The reason is that the branching degree of isoparaffins from the naphtha fraction is not sufficiently high enough to reach the typical octane number values of gasoline products delivered at filling stations. Assuming the goal of launching a premium biodiesel or biokerosene fuel to the market, these hydroprocessed synthetic biofuels from FT biowaxes are ideal blending components.</p>
<p><b>Aviation gas turbine alternative fuels: A review</b></p>	<p>The development of kerosene-like drop-in alternative aircraft fuels is currently receiving increased attention. Using a range payload approach the need for drop in fuels is justified. The alternative fuels available can be categorised into two groups; depending on whether the product increases supply security of supply or provides a reduced environmental footprint. This paper uncovers this relationship through a review of commercially available process technologies (Transesterification, Fischer-Tropsch (FT) and hydroprocessing (HRJ)) to produce alternative fuels. The lifecycle assessments available are reviewed to identify what are actually clean fuels or have the potential to be one. A summary of the recent alternative fuel flight test campaigns is given and there results evaluated along with ground based results.</p> <p>A review of combustion characteristics available for the alternative fuels including ignition characteristics are presented to demonstrate the effect the distillation curve has on combustion and how too narrow a distribution of components in the fuel could generate problems with high altitude relight. The effect alternative fuels have on gaseous emissions regulated by the International Civil Aviation Organisation (ICAO) Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) is discussed and shown to be engine hardware dependant.</p> <p>Experimental data, from an Auxiliary Power Unit (APU) engine, are provided showing how, although the Gas to Liquid (GtL) and Coal to Liquid (CtL) FT fuels may not reduce GHG emissions, even with Carbon Capture and Sequestration (CCS), the local air quality around airports will benefit through reduced particulate emissions.</p> <p>Finally the prospects for future fuel development are discussed.</p>
<p><b>An experimental and modeling study of burning velocities of possible future synthetic jet fuels</b></p>	<p>Recently, the development of viable alternative aviation fuels has attracted much interest, for several reasons, with reduction of greenhouse gas (GHG) emissions and ensuring security of supply at affordable prices among them. In the present work, several alternative aviation fuels - existing and potential - are investigated by focusing on their heat release: Gas-to-Liquid (GtL), representing a Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK), a fully synthetic jet fuel (FSJF: Coal-to-Liquid (CtL)), and blends of GtL with 20% 1-hexanol or 50% naphthenic cut, respectively.</p> <p>Burning velocities are measured at ambient pressures and at elevated preheat temperatures exploiting the cone-angle method; equivalence ratios are between about <math>\phi = 1.0</math> and <math>\phi = 1.4</math>. The measured data are used for the validation of a detailed chemical reaction model consisting of 4642 reactions involving 1075 species developed by Dagaut et al. 22 and 23 following the concept of a surrogate. The comparison between measured burning velocities and predicted laminar flame speeds shows reasonably good agreement with the model for the range of conditions considered in this study. The main features of the reaction model are also discussed, using sensitivity and rate of production analysis. Finally, the experimental data are compared with results obtained earlier for crude-oil kerosene. The findings support the potential of the investigated fuel mixtures to serve as alternative aviation fuels.</p>
<p><b>Biokerosene from coconut and palm kernel oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene</b></p>	<p>Coconut and palm kernel oils have been transesterified with methanol by the classical homogeneous basic catalysis method with good yields. The FAME's have been subjected to fractional distillation at vacuum, and the low boiling point fractions have been blended with two types of fossil kerosene, a straight-run atmospheric distillation cut (hydrotreated) and a commercial Jet A1.</p> <p>The blends of palm kernel biokerosene and Jet A1 meet some specifications selected for study of the ASTM D1655 standard: smoke point, density, flash point, viscosity at 20 °C and freezing point and they do not comply with the low calorific value by a very narrow margin. On the other hand, the blends of palm kernel biokerosene and atmospheric distillation fossil kerosene only met the density and viscosity at 20 °C parameters. The blends of coconut biokerosene and atmospheric distillation fossil kerosene meet the following specifications: density, viscosity at 20 °C and lubricity.</p> <p>It is especially noticeable that all the blends of 5 vol.% of biokerosene and fossil kerosenes do not meet the low calorific value by a very narrow margin, less than 1.0 MJ kg<sup>-1</sup>. With these preliminary results, we can conclude that it would be feasible to blend coconut and palm kernel biokerosenes prepared in this way with commercial Jet A1 up to 10 vol.% of the former, if the IATA organization relaxes very slightly its standards.</p>

<p><b>Biokerosene from Babassu and Camelina Oils: Production and Properties of Their Blends with Fossil Kerosene</b></p>	<p>Babassu and camelina oils have been transesterified with methanol by the classical homogeneous basic catalysis method with good yields. The babassu fatty acid methyl ester (FAME) has been subjected to fractional distillation at vacuum, and the low boiling point fraction has been blended with two types of fossil kerosene, a straight-run atmospheric distillation cut (hydrotreated) and a commercial Jet-A1. The camelina FAME has been blended with the fossil kerosene without previous distillation. The blends of babassu biokerosene and Jet-A1 have met some of the specifications selected for study of the ASTM D1655 standard: smoke point, density, flash point, cloud point, kinematic viscosity, oxidative stability and lower heating value. On the other hand, the blends of babassu biokerosene and atmospheric distillation cut only have met the density parameter and the oxidative stability. The blends of camelina FAME and atmospheric distillation cut have met the following specifications: density, kinematic viscosity at -20 °C, and lower heating value. With these preliminary results, it can be concluded that it would be feasible to blend babassu and camelina biokerosenes prepared in this way with commercial Jet-A1 up to 10 vol % of the former, if these blends prove to accomplish all the ASTM D1655-09 standards.</p>
<p><b>Application of a novel charge preparation approach to testing the autoignition characteristics of JP-8 and camelina hydroprocessed renewable jet fuel in a rapid compression machine</b></p>	<p>A variety of new, alternative jet fuels are being considered as replacements for conventional petroleum-derived jet fuels, and the autoignition chemistry of these fuels are of prime interest. However, traditional batch-based premixture preparation approaches used in chemical kinetics studies are burdened by the low volatility of these fuels. In this work, a new charge preparation approach is described and characterized in which a fuel and air premixture is created directly in the test chamber of a rapid compression machine. The approach relies on a fuel injector to load a small quantity of fuel into the test chamber with high resolution. Preparation of the test charge directly in the device rather than in a mixing vessel reduces the mixture pressure, and hence the fuel partial pressure and mixture temperature requirements to avoid thermal decomposition of the fuel. Gas chromatography/mass spectrometry is used to confirm that an accurately known mass of JP-8 jet fuel is injected into the rapid compression machine, and that all components of the fuel are evaporated and homogeneously mixed within 2 min of the fuel injection, for temperatures from 105 °C to 145 °C. Ignition delays for JP-8 in air are measured at low temperatures (670–750 K) and low pressures (7 and 10 bar) and the measurements are compared with literature data. The autoignition characteristics of the bio-based camelina hydroprocessed renewable jet fuel are also measured and contrasted with those of JP-8. Under similar compressed conditions, the camelina hydro-processed renewable jet fuel ignition properties are distinct from JP-8, which provides motivation for pursuing new test strategies to elicit the autoignition chemistry of alternative jet fuels and other non-volatile fuels.</p>
<p><b>Experimental studies on the combustion characteristics of alternative jet fuels</b></p>	<p>Conventional Jet-A and six alternative jet fuels, including three Fischer-Tropsch "Synthetic Paraffinic Kerosene" (SPK) fuels and three "Hydrotreated Renewable Jet" (HRJ) fuels, have been experimentally investigated to obtain their fundamental combustion characteristics in terms of Derived Cetane Number (DCN), autoignition response, laminar flame speed, and extinction stretch rate for premixed combustion. The ignition delay times and DCNs for each jet fuel and selected binary blends of Jet-A and alternative jet fuel were determined by using a Fuel Ignition Tester in accordance with the ASTM D7170 method. In addition, the autoignition response for fuel/air mixtures was recorded and compared in a heated Rapid Compression Machine, conducted at an air-to-fuel mass ratio of 13 and under a compressed pressure of 22 bar. By changing the compression ratio and initial temperature, the trend of autoignition behavior over a range of compressed temperatures was studied. Atmospheric laminar flame speeds and extinction stretch rates were also measured in the premixed twin-flame configuration by using a counterflow burner. The flame data at two unburned mixture temperatures of 400 K and 470 K were reported respectively over an equivalence ratio range of <math>\phi = 0.7-1.4</math> for the laminar flame speeds and of <math>\phi = 0.9-1.6</math> for the extinction stretch rate measurements. The comparison of fundamental combustion properties for Jet-A and various alternative jet fuels provides insights into understanding the impact of fuel properties on combustion performance and developing a cost-effective combustion testing program that includes fundamental characterization.</p>
<p><b>The influence of alternative fuel composition on gas turbine ignition performance</b></p>	<p>Increased interest in alternative aviation fuels and consequent advances in non-conventional refining techniques are providing for increased hydrocarbon diversification. Limited data however, exist on the complex relationships between these hydrocarbons and gas turbine combustion performance. The focus of this research was to determine the degree in which different fuel compositions affected ignition performance. Experimental ignition loops were obtained from representative combustion sections at atmospheric pressure. Selected fuels included: a gas-to-liquid synthetic (GTL), Jet-A-1, a thermally stressed Jet-A-1 and diesel. Results led to the conclusion that variation in fuel chemistry – including significant changes in hydrocarbon composition – does not influence ignition performance provided sufficient light hydrocarbons are available in the combustor primary zone. Further analysis of experimental results and fuel composition – through gas chromatography techniques (GC-MS) – facilitated the development of a mathematical correlation between the primary zone ignition equivalence ratio and the calculated test fuel vapour pressure.</p>
<p><b>Technical review on jet fuel production</b></p>	<p>In present study, we investigated jet fuel production process, including the crude oil-based conventional process, unconventional oil sources-based process, Fischer-Tropsch synthesis (F-T) process and renewable jet fuel process and analyzed the details of each jet fuel production process. Among these jet fuel production technologies, the F-T synthesis and renewable jet fuel process supply alternative fuels with potential environmental benefit of reduced life cycle greenhouse gas (GHG) emissions and the economic benefits associated with increased fuel availability and lower fuel costs. The F-T synthesis has a major advantage with the possibility of accepting any carbon-based input, which makes it suitable for using a variety of sources such as coal, natural gas and 2nd generation biomass as feedstocks. The renewable jet fuel process such as Bio-Synfining™ (Syntroleum) and Ecofining™ (UOP) as well as C-LTM (Tianjin University) is a low capital cost process of producing high quality synthetic paraffinic kerosene (SPK) from bio-renewable feeds like vegetable oils/fats and waste cooking oils/fats, greases, energy plants of jatropha and algal. The SPK has superior fuel properties to other options available today, with higher cetane number, lower cloud point and lower emissions.</p>
<p><b>Economic and emissions impacts of renewable fuel goals for aviation in the US</b></p>	<p>The US Federal Aviation Administration (FAA) has a goal that one billion gallons of renewable jet fuel is consumed by the US aviation industry each year from 2018. We examine the economic and emissions impacts of this goal using renewable fuel produced from a Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) process from renewable oils. Our approach employs an economy-wide model of economic activity and energy systems and a detailed partial equilibrium model of the aviation industry. If soybean oil is used as a feedstock, we find that meeting the aviation biofuel goal in 2020 will require an implicit subsidy from airlines to bio-fuel producers of \$2.69 per gallon of renewable jet fuel. If the aviation goal can be met by fuel from oilseed rotation crops grown on otherwise fallow land, the implicit subsidy is \$0.35 per gallon of renewable jet fuel. As commercial aviation biofuel consumption represents less than 2% of total fuel used by this industry, the goal has a small impact on the average price of jet fuel and carbon dioxide emissions. We also find that, under the pathways we examine, the cost per tonne of CO<sub>2</sub> abated due to aviation biofuels is between \$50 and \$400.</p>
<p><b>Ignition behavior and surrogate modeling of JP-8 and of camelina and tallow hydrotreated renewable jet fuels at low temperatures</b></p>	<p>The autoignition characteristics of the conventional jet fuel, JP-8, and the alternative jet fuels, camelina and tallow hydrotreated renewable jet (HRJ) fuels, are investigated using a rapid compression machine and the direct test chamber charge preparation approach. Ignition delay measurements are made at low compressed temperatures (625 K to 6730 K), compressed pressures of <math>p_c = 5, 10, \text{ and } 20 \text{ bar}</math>, and equivalence ratios of <math>\phi = 0.25, 0.5 \text{ and } 1.0</math> in air. The HRJ fuels ignite more readily than JP-8 for all tested conditions, consistent with derived cetane number data in the literature. The camelina and tallow HRJ fuels exhibit similar autoignition characteristics, but the two fuels can be distinguished under stoichiometric conditions. Kinetic modeling is conducted with a 2-component surrogate (10% n-dodecane/90% 2-methylundecane) and a single component surrogate (2-methylnonane) to evaluate the potential to predict ignition behavior of the HRJ fuels. Modeling results indicate that the surrogate fuels can only provide useful predictions at a limited set of conditions (<math>p_c = 5 \text{ bar and } \phi = 1.0</math>), and that the agreement of the model and experimental data improves with decreasing compressed pressure. Under most conditions, the 2-component surrogate provides better prediction of ignition behavior, but the single component surrogate is superior at low pressures near the negative temperature coefficient region.</p>
<p><b>The spherically symmetric droplet burning characteristics of Jet-A and biofuels derived from camelina and tallow</b></p>	<p>This study compares liquid fuel combustion characteristics of biofuels derived from camelina (POSF6152) and tallow (POSF6308) with a US domestic aviation fuel (Jet-A, POSF4658) using the spherically symmetric (one-dimensional) droplet configuration as the basis of comparison. A blend of camelina biofuel and Jet-A is also examined. The initial droplet diameters were fixed at <math>0.57 \pm 0.03 \text{ mm}</math>. The biofuels studied have been considered as replacement fuels for conventional jet fuels. Results show that the evolutions of droplet, flame, and soot shell diameters for Jet-A and the bio-fuels are very similar regardless of intrinsic compositional differences among the individual fuels. Sooting behaviors were noted to be different with Jet-A forming significantly thicker soot clouds, most likely due to its higher aromatic content compared to biofuels. The broad similarities shown in this study were consistent with results reported in the literature for performance of the same fuel systems in actual turbine and flight tests where the fuel blends examined were noted to yield essentially indistinguishable differences in overall performance. The results suggest value to the spherical droplet flame configuration to assess performance of real fuels burning under far more complex transport conditions.</p>

<p><b>Life-cycle analysis of bio-based aviation fuels</b></p>	<p>Well-to-wake (WTWa) analysis of bio-based aviation fuels, including hydroprocessed renewable jet (HRJ) from various oil seeds, Fischer-Tropsch jet (FTJ) from corn-stover and co-feeding of coal and corn-stover, and pyrolysis jet from corn stover, is conducted and compared with petroleum jet. WTWa GHG emission reductions relative to petroleum jet can be 41–63% for HRJ, 68–76% for pyrolysis jet and 89% for FTJ from corn stover. The HRJ production stage dominates WTWa GHG emissions from HRJ pathways. The differences in GHG emissions from HRJ production stage among considered feedstocks are much smaller than those from fertilizer use and N<sub>2</sub>O emissions related to feedstock collection stage. Sensitivity analyses on FTJ production from coal and corn-stover are also conducted, showing the importance of biomass share in the feedstock, carbon capture and sequestration options, and overall efficiency. For both HRJ and FTJ, co-product handling methods have significant impacts on WTWa results.</p>
<p><b>A study on developing aviation biofuel for the Tropics: Production process—Experimental and theoretical evaluation of their blends with fossil kerosene</b></p>	<p>In the present work, the production process of bio-jet paraffins is appropriately proposed according to the conditions of the socioeconomic situations, the current technologies of biofuel production and the available feedstock sources for the tropical countries. The blending process of bio-kerosene which is a mixture of bio-jet paraffins and fossil kerosene is also displayed. The two prototypes of bio-paraffins (Bio-P1 and Bio-JP2), which were manufactured in Indonesia following the proposed production process, are used for making bio-kerosenes in current study. The theoretical and experimental investigations have been carried out to evaluate and identify the critical properties of bio-kerosenes: distillations, freezing point, lower heating value, density, flash point and viscosity to ensure ASTM criteria of jet fuel. The results show it can be blended directly 5% volume of Bio-P1 or 10% volume of Bio-JP2 to commercial Jet A-1 for powering aviation gas turbine engines without redesigning fuel system or fuel supply infrastructure. The use of these bio-paraffins not only reduces CO<sub>2</sub> lifecycle but also significantly decreases emissions of sulfur compounds (SO<sub>x</sub>). With preliminary achievements of this work, it is no doubt about the feasibility of developing aviation alternative fuels according to the proposed production process for the tropical countries.</p>
<p><b>Lead markets in 2nd generation biofuels for aviation: A comparison of Germany, Brazil and the USA</b></p>	<p>Biofuels are the first feasible option for greenhouse gas emission reduction in aviation. This paper uses the lead markets framework to consider potential advantages in process plant required to produce 2nd generation biofuels for aviation. Germany and Brazil both have the potential to develop a lead market. They are active in technology development and have a demand interest through a significant aircraft and airline industry. The USA has also been found to be a country with a very high lead market potential. Since the technology is at a demonstration stage, market information for the assessment of lead market advantages is not available. However, there are a range of indicators of firm activity and market potential that can be combined to make a general assessment. For this case, it is necessary for the lead market framework to be extended to consider international technology networks instead of a national lead market.</p>
<p><b>Life cycle assessment of camelina oil derived biodiesel and jet fuel in the Canadian Prairies</b></p>	<p>This study evaluated the environmental impact of biodiesel and hydroprocessed renewable jet fuel derived from camelina oil in terms of global warming potential, human health, ecosystem quality, and energy resource consumption. The life cycle inventory is based on production activities in the Canadian Prairies and encompasses activities ranging from agricultural production to oil extraction and fuel conversion. The system expansion method is used in this study to avoid allocation and to credit input energy to co-products associated with the products displaced in the market during camelina oil extraction and fuel processing. This is the preferred allocation method for LCA analysis in the context of most renewable and sustainable energy programs. The results show that greenhouse gas (GHG) emissions from 1 MJ of camelina derived biodiesel ranged from 7.61 to 24.72 g CO<sub>2</sub> equivalent and 3.06 to 31.01 kg CO<sub>2</sub>/MJ equivalent for camelina HRJ fuel. Non-renewable energy consumption for camelina biodiesel ranged from 0.40 to 0.67 MJ/MJ; HRJ fuel ranged from -0.13 to 0.52 MJ/MJ. Camelina oil as a feedstock for fuel production accounted for the highest contribution to overall environmental performance, demonstrating the importance of reducing environmental burdens during the agricultural production process. Attaining higher seed yield would dramatically lower environmental impacts associated with camelina seed, oil, and fuel production. The lower GHG emissions and energy consumption associated with camelina in comparison with other oilseed derived fuel and petroleum fuel make camelina derived fuel from Canadian Prairies environmentally attractive.</p>
<p><b>Alternative jet fuel feasibility</b></p>	<p>Concerns regarding the environmental and economic sustainability of petroleum based transportation fuels, including jet fuel, are driving interest into alternative fuels. The development of viable alternatives could provide benefits in terms of energy diversity thus reducing dependence on any given nation for our energy needs. This manuscript examines the drivers for alternative fuels in the light of the needs of aviation and it provides criteria wherein potential alternative jet fuels can be compared. A wide range of transportation fuels was qualitatively examined using these criteria. Because of concerns regarding their safe use and the energy efficiency loss that would be inherent in their use, alcohols and biodiesel are better suited for ground transportation. Cryogenic fuels are not feasible in the near term because of the large existing aircraft and airport infrastructure that is incompatible with these fuels. Synthetic fuels offer aviation with a wide range of potential feedstocks that could augment or potentially replace petroleum, but concerns regarding the economic cost of production and the current lack of feedstock availability limits their near term availability to aviation.</p>
<p><b>Autoignition behavior of synthetic alternative jet fuels: An examination of chemical composition effects on ignition delays at low to intermediate temperatures</b></p>	<p>The autoignition characteristics of military aviation fuels (JP-5 and JP-8), proposed camelina-derived hydroprocessed renewable jet fuel replacements (HRJ-8 and HRJ-5), Fischer-Tropsch fuels (Shell and Sasol), three Sasol isoparaffinic solvents, as well as 50/50 volumetric blends of the alternative fuels with the conventional fuels are examined. Experiments were conducted in a rapid compression machine and shock tube at compressed temperatures of 625 K to 6 1000 K, a compressed pressure of 20 bar, and under stoichiometric and lean conditions. Several implicit properties of the alternative fuels prompted a study of the influence of chemical composition on autoignition, including the influence of isoparaffinic, cycloparaffinic, and aromatic structures. In addition, interesting combustion phenomena at low-temperature conditions are investigated under lean conditions, specifically concerning jet fuel blend reactivity, where a convergence in blend reactivity to the reactivity of either a conventional or alternative fuel is observed.</p>
<p><b>Performance of synthetic jet fuels in a meso-scale heat recirculating combustor</b></p>	<p>The performance of two synthetic aviation fuels was evaluated in a meso-scale heat recirculating combustor and the respective results compared with the combustion characteristics of a conventional petroleum-based jet fuel. One of the alternative jet fuels was synthesized via a Fischer-Tropsch (F-T fuel) process, while the other was produced from tallow (bio-jet fuel). The petroleum-based fuel used in this study was JP-8. The combustion and extinction behavior of the above fuels and their mixtures (50% synthetic fuel and 50% JP-8 by volume in JP-8) in the meso-scale combustor using oxygen under fuel-rich and fuel-lean non-premixed combustion conditions was examined. The synthetic fuels exhibited stable combustion over a range of equivalence ratios at each fuel flow rate; however, stable combustion was not achieved for JP-8 under any of the examined conditions. The mixtures also exhibited somewhat unstable combustion phenomena as those seen with JP-8, but dampened enough such that mostly stable combustion could occur. Fuel characterization analysis was performed for each fuel, and their respective thermal performances evaluated. Both the F-T and bio-jet fuels reached a maximum thermal efficiency of about 95% near their respective rich extinction limits. The mixtures exhibited somewhat poor thermal performances, with a maximum thermal efficiency of about 75%. The results reveal that composition of the fuel plays a prominent role in the flame stability and thermal performance in meso-scale combustors, as more complex species (such as aromatics, found in JP-8) have a slower reaction rate than simple species. The short residence time available in the combustion zone of the micro-combustion chamber does not allow to fully combust the complex fuel species, resulting in flame instability and formation of soot.</p>
<p><b>Renewable jet fuel</b></p>	<p>Novel strategies for sustainable replacement of finite fossil fuels are intensely pursued in fundamental research, applied science and industry. In the case of jet fuels used in gas-turbine engine aircrafts, the production and use of synthetic bio-derived kerosenes are advancing rapidly. Microbial biotechnology could potentially also be used to complement the renewable production of jet fuel, as demonstrated by the production of bioethanol and biodiesel for piston engine vehicles. Engineered microbial biosynthesis of medium chain length alkanes, which constitute the major fraction of petroleum-based jet fuels, was recently demonstrated. Although efficiencies currently are far from that needed for commercial application, this discovery has spurred research towards future production platforms using both fermentative and direct photobiological routes.</p>

<p><b>Quantification of aldehydes emissions from alternative and renewable aviation fuels using a gas turbine engine</b></p>	<p>In this research three renewable aviation fuel blends including two HEFA (Hydrotreated Ester and Fatty Acid) blends and one FAE (Fatty Acids Ethyl Ester) blend with conventional Jet A-1 along with a GTL (Gas To Liquid) fuel have been tested for their aldehydes emissions on a small gas turbine engine. Three strong ozone formation precursors: formaldehyde, acetaldehyde and acrolein were measured in the exhaust at different operational modes and compared to neat Jet A-1. The aim is to assess the impact of renewable and alternative aviation fuels on aldehydes emissions from aircraft gas turbine engines so as to provide informed knowledge for the future deployment of new fuels in aviation. The results show that formaldehyde was a major aldehyde species emitted with a fraction of around 60% of total measured aldehydes emissions for all fuels. Acrolein was the second major emitted aldehyde species with a fraction of w30%. Acetaldehyde emissions were very low for all the fuels and below the detection limit of the instrument. The formaldehyde emissions at cold idle were up to two to threefold higher than that at full power. The fractions of formaldehyde were 6e10% and 20% of total hydrocarbon emissions in ppm at idle and full power respectively and doubled on a g kg l-fuel basis.</p>
<p><b>The market development of aviation biofuel: Drivers and constraints</b></p>	<p>Aviation biofuel is technically viable and nearing the commercial stage. In the last ten years, biofuels have moved from relative obscurity to a point where certain types of fuel have become fully certified for commercial use in up to 50% blends with standard jet fuel and commercial partnerships between airlines and biofuel producers are being established. Yet despite numerous successful test flights, aviation bio-fuels have yet to become widely commercialised. Drawing on the findings of in-depth interviews with leading global aviation biofuel stakeholders undertaken between October and December 2011, this paper identifies and examines the perceived factors that are affecting the market development of biofuels for aviation. The paper illustrates that market development is being driven by the combined effects of rising jet fuel prices, the potential future impact of emissions legislation and concerns about fuel (in)security. However, commercialisation is being constrained by high production costs, limited availability of suitable feedstocks, uncertainty surrounding the definition of the sustainability criteria, and a perceived lack of both national and international political and policy support for aviation biofuel. The implications of these findings for commercial aviation and the future development of global market for aviation biofuel market are discussed.</p>

## Anexo C – Patentes selecionadas

Título	Resumo
<b>Process for co-producing jet fuel and LPG from renewable sources</b>	The present invention generally relates to a method for producing an isoparaffinic product useful as jet fuel from a renewable feedstock. The method may also include co-producing a jet fuel and a liquefied petroleum gas (LPG) fraction from a renewable feedstock. The method includes hydrotreating the renewable feedstock to produce a hydrotreating unit heavy fraction that includes n-paraffins and hydroisomerizing the hydrotreating unit heavy fraction to produce a hydroisomerizing unit heavy fraction that includes isoparaffins. The method also includes recycling the hydroisomerizing unit heavy fraction through the hydroisomerization unit to produce an isoparaffinic product that may be fractionated into a jet fuel and an LPG fraction. The present invention also relates to a jet fuel produced from a renewable feedstock having improved cold flow properties.
<b>Process for conversion of biomass to fuel</b>	A process for the direct conversion of lipid biomass fuel stock to combustible fuels include the steps of hydrolyzing a lipid biomass to form free fatty acids, catalytically deoxygenating the free fatty acids to form n-alkanes, and reforming at least a portion of the n-alkanes into a mixture of compounds having the correct chain length, conformations and ratio to be useful as transportation fuels. The process exhibits an overall energy efficiency of at least about 75%, wherein energy efficiency is calculated as the lower heating value of the produced transportation fuel over the sum of the lower heating value of the process reactants and the total energy input into the process.
<b>Process for producing a renewable fuel in the gasoline or jet fuel range</b>	Processes for producing hydrocarbons in the gasoline and jet fuel range. The processes involve the thermal decarboxylation of fatty acids, which can be derived from the hydrolysis of triglycerides, which triglycerides can be vegetable oils, animal fats, or combinations thereof. The resulting hydrocarbons can be hydrocracked, and, optionally, isomerized and/or hydrotreated, to yield hydrocarbons in the jet fuel or gasoline range. Where the resulting hydrocarbons include olefinic double bonds, they can alternatively be combined with low molecular weight olefins, and subjected to olefin metathesis to yield hydrocarbons in the jet fuel or gasoline range.
<b>Process for obtaining biokerosene</b>	The invention relates to a method comprising the steps of: - performing a hydrotreating or hydrocracking operated under a pressure of 20 to 120 bar and at a temperature between 250 and 500 DEG C, preferably between 350 and 400 DEG C, on a hydrocarbon charge comprising or consisting of a charge of petroleum origin, a feedstock of biological origin comprising or consisting of vegetable oils and / or animal fats which at least 5% by weight of fatty acids have a chain length of less than or equal to 14 carbon atoms based on the total weight of triglycerides, preferably at least 20% by weight, or even at least 50% by weight - carrying out a fractionation so as to recover a kerosene fraction, said fraction having a boiling point preferably below 300 ° C.

<p><b>Renewable Chemicals and Fuels From Oleaginous Yeast</b></p>	<p>fermentation of oil-bearing microbes. The processes provided herein can utilize a variety of carbohydrate feedstocks including cane bagasse, sugar beet pulp, corn stover, glycerol, corn starch, sorghum, molasses, waste glycerol, and other renewable materials. These processes further comprise hydrotreating, hydrocracking, isomerization, distillation, and other petrochemical processes for use with oil-bearing microbes and products derived therefrom to manufacture fuels. Particular embodiments include the manufacture of ASTM D975 and ASTM D1655 compliant fuels. Genetically engineered microbes provided herein can be used in the manufacture of renewable diesel and renewable jet fuel.</p>
<p><b>Process for conversion of biomass to fuel</b></p>	<p>The present disclosure is directed to processes for the direct conversion of lipidic biomass fuelstock to combustible fuels. In particular, the disclosure provides a process for the direct conversion of animal fats to transportation fuels suitable as replacement for petroleum-derived transportation fuels. In an example, the method comprises the steps of hydrolyzing a lipidic biomass to form free fatty acids, catalytically deoxygenating the free fatty acids to form n-alkanes, and reforming at least a portion of the n-alkanes into a mixture of compounds in the correct chain length, conformations, and ratio to be useful transportation fuels. Particularly, the product prepared comprises mixtures of hydrocarbon compounds selected from the group consisting of n-alkanes, isoalkanes, aromatics, cycloalkanes, and combinations thereof.</p>
<p><b>Process for the production of biokerosene by means of integrated route, and biokerosenes thus produced</b></p>	<p>The present invention describes the process for the production of two fuels compatible with kerosene of fossil origin. The first fuel is constituted by a mixture of esters with a high degree of purity, and the second fuel is constituted by a mixture of hydrocarbons with properties similar to those of kerosene of fossil origin. Furthermore, in addition, the present invention also describes the process for the production of biogasoline. Biogasoline is a by-product of the biokerosene-production process, and the process for the production of this by-product is likewise described in the present patent application. The fuel is constituted by a mixture of hydrocarbons with properties similar to those of gasoline of fossil origin.</p>
<p><b>Process for the production of aviation biokerosene and aviation kerosene composition</b></p>	<p>The present invention relates to a process of obtainment of aviation biokerosene and a composition of aviation kerosene containing the aviation biokerosene thus produced. The process consists of simultaneously combining three basic conditions: raw material selection, processing conditions, and control of specific properties of the product. The composition is classified as a semisynthetic composition of aviation kerosene and may contain up to 20% by weight of aviation biokerosene, satisfying the limits determined in the international specifications for aviation kerosene.</p>
<p><b>Biogenic turbine and diesel fuel</b></p>	<p>The present invention provides fully renewable turbine and diesel fuels created from biomass sources. In one embodiment, the fully renewable turbine fuel is comprised of mesitylene and at least one alkane. Preferably, the turbine fuel comprises from about 50 to 99 wt% mesitylene and from about 1 to 50 wt% of at least one alkane. In another embodiment the diesel fuel comprises mesitylene, octadecane, and optionally octane or nonane. Preferably, the diesel fuel comprises from about 50 to 99 wt% mesitylene, and from about 1 to 50 wt% octadecane. These biomass derived fuels may be formulated to have a wide range of cetane values and differing freezing and boiling points. A preferred biogenic turbine fuel comprises one or more synthetic paraffinic kerosenes (SPK) and/or hydroprocessed renewable jet (HRJ) fuel; and between about 8 to 25 vol% of mesitylene. Another preferred biogenic turbine fuel is a blend of about 50% petroleum-based fuel; and about 50% of one or more of synthetic paraffinic kerosenes (SPK) and/or hydroprocessed renewable jet fuel (HRJ), and mesitylene.</p>
<p><b>Renewable Diesel and Jet Fuel from Microbial Sources</b></p>	<p>The invention provides methods of manufacturing alkanes from triglyceride oils produced through fermentation of oil-bearing microbes. The processes provided herein can utilize a variety of carbohydrate feedstocks including cane bagasse, sugar beet pulp, corn stover, glycerol, corn starch, sorghum, molasses, waste glycerol, and other renewable materials. These processes further comprise hydrotreating, hydrocracking, isomerization, distillation, and other petrochemical processes for use with oil-bearing microbes and products derived therefrom to manufacture fuels. Particular embodiments include the manufacture of ASTM D975 and ASTM D1655 compliant fuels. Genetically engineered microbes provided herein can be used in the manufacture of renewable diesel and renewable jet fuel.</p>
<p><b>PROCESS FOR PRODUCING RENEWABLE JET FUEL COMPOSITIONS</b></p>	<p>Processes for producing jet fuel are disclosed. In one embodiment, syngas is converted to methanol, and a first portion of the methanol is converted to olefins using a methanol-to-olefins catalyst. The olefins are then oligomerized under conditions that provide olefins in the jet fuel range. The olefins can then optionally be isomerized and/or hydrotreated. A second portion of the methanol is converted to dimethyl ether, which is then reacted over a catalyst to form jet fuel-range hydrocarbons and aromatics. All or part of the two separate product streams can be combined, to provide jet fuel components which include isoparaffins and aromatics in the jet fuel range. The syngas is preferably derived from biomass or another renewable carbon-containing feedstock, thereby providing a biorefining process for the production of renewable jet fuel. In another embodiment, the process starts with methanol, rather than producing the methanol from syngas.</p>
<p><b>Productions of biokerosene with hyperthermophilic organisms</b></p>	<p>The present invention relates to processes from producing synthetic fuels from biolipid sources by treating the biolipids with biologically produced hydrogen gas, and the fuel stocks and fuels produced thereby.</p>