UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUIMICA

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS E PETROQUÍMICA

CINDY KATHERINE TULCAN REALPE

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE COMBUSTÍVEL RENOVÁVEL PARA AVIAÇÃO: *ESTUDO DE CASO DO DIESEL VERDE*.

RIO DE JANEIRO

- 2016-

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUIMICA

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS E PETROQUÍMICA

CINDY KATHERINE TULCAN REALPE

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE COMBUSTÍVEL RENOVÁVEL PARA AVIAÇÃO: *ESTUDO DE CASO DO DIESEL VERDE*.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, para obtenção do título de Mestre em Ciências, M.Sc.

Da disciplina: **PESQUISA DE TESE DE MESTRADO.**

Orientadoras: Prof[a]. Suzana Borschiver, D.Sc.

Prof[a]. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, D.Sc.

RIO DE JANEIRO

- 2016-

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE COMBUSTÍVEL RENOVÁVEL PARA AVIAÇÃO: *ESTUDO DE CASO DO DIESEL VERDE*.

CINDY KATHERINE TULCAN REALPE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, para obtenção do título de Mestre em Ciências, M.Sc.

Aprovada em:

_____

Prof[a].Dr[a]. Suzana Borschiver
Orientadora

_____

Prof[a].Dr[a]. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto
Orientadora

_____

Dr. Marcello José Pio

_____

Dr. Aymer Maturana Cordoba

_____

Dr. Fábio Almeida Oroski

Data de aprovação: 01/04/2016

T917p

Tulcan Realpe, Cindy Katherine
Prospecção tecnológica de combustível renovável para aviação: estudo de caso do diesel verde. / Cindy Katherine Tulcan Realpe. -- Rio de Janeiro, 2016.
152 f.

Orientadora: Suzana Borschiver.
Coorientadora: Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2016.

1. Sustentabilidade. 2. Biocombustível de Aviação . 3. Diesel Verde. 4. Tendências Tecnológicas . 5. Inteligência Competitiva.. I. Borschiver, Suzana, orient. II. Peixoto Gimenes Couto, Maria Antonieta , coorient. III. Título.

A Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.
Aos meus pais Pedro e Martha, pelo apoio incondicional e por ser um porto seguro ao longo da minha vida.
As minhas irmãs Martha e Veronica, a fonte da minha inspiração.

Agradecimentos

As ilustres doutoras Suzana Borschiver e Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, pelo exemplo, a dedicação na orientação da tese, paciência com o idioma, correções, o carinho e por terem ajudado a emadurecer tanto profissional como pessoalmente.

Ao Estado Brasileiro, por ter sido privilegiada, ao ter uma educação de alto nível, publica gratuita e de qualidade.

Aos professores e funcionários da Escola de Química/UFRJ, que estruturaram um curso excepcional de mestrado.

Um agradecimento especial para o Professor Elcio Ribeiro Borges, que dedicou o seu valioso tempo para me ajudar na conclusão desse trabalho.

A minha amiga Karol, o meu anjo brasileiro, e a sua família por me ajudar e me dar um lar onde morar. Nunca vou a esquecer do bonito gesto.

A minha família, tios e primos, porque acreditaram sempre em mim.

Aos meus amigos queridos, pelos ótimos encontros, ao longo dessa tese, Lorena, Daniela e Cristian.

Aos membros da banca, pelas recomendações, que melhoraram a qualidade do trabalho.

"É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota".

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

A recente oscilação no preço do petróleo, os riscos geopolíticos decorrentes da dependência do petróleo de países politicamente instáveis e os compromissos mais sólidos com a questão ambiental fazem com que o desenvolvimento de combustíveis a partir de matéria-prima renovável venha se destacando no cenário mundial. A empresa BOEING, identificou o combustível renovável "diesel verde" atualmente utilizado no transporte rodoviário, como uma nova e significativa fonte de biocombustível sustentável para a aviação, emissor de 50% menos de dióxido de carbono do que os combustíveis fósseis ao longo do seu ciclo de vida. A empresa está trabalhando com a Federal Aviation Administration (FAA) e outras partes interessadas para aprovar o uso diesel verde em aeronaves e reduzir ainda mais as emissões de carbono na indústria da aviação. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de prospecção tecnológica, a fim de compreender as principais tendências tecnológicas, em relação a aspectos de processo, produto, catalisador e oportunidades na implantação de diesel renovável para substituir os combustíveis convencionais. Foi realizada uma revisão da literatura com os recursos disponíveis nas diferentes fontes de pesquisa, tais como teses, patentes, artigos, bancos de dados, etc. Foram encontradas algumas tendências a respeito do estudo, por exemplo: entre as matérias-primas mais utilizadas na produção de diesel verde apresentam-se as algas e também se destacam os processos associados à produção de diesel petroquímico como o hidroprocessamento. Conjuntamente, para a inclusão do diesel renovável na matriz energética brasileira é imprescindível a execução de políticas governamentais. No cenário internacional, já existe a capacidade para produzir diesel verde nos EUA, a Europa e Cingapura.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Biocombustíveis de Aviação, Diesel Verde, Tendências Tecnológicas e Inteligência competitiva.

ABSTRACT

The recent fluctuation in the crude oil prices, geopolitical risks from dependence on crude oil from politically unstable countries and stronger commitments to environmental issues make the development of renewable raw material fuels will be highlighting in the world scenario. The BOEING Company identifies the renewable fuel "green diesel" currently used in road transport, as a significant new source of sustainable biofuel for aviation, emitting 50% less carbon dioxide than fossil fuels throughout their cycle life. The company is working with the Federal Aviation Administration (FAA) and other stakeholders to adopt green diesel use in aircraft and further reduce carbon emissions in the aviation industry. This paper aims to conduct a technological prospecting study in order to understand the main technological trends in relation to process aspects, product, catalyst and opportunities in renewable diesel deployment to replace conventional fuels. It was performed a literature review with the resources available in the different sources of research, such as these, patents, articles, databases, etc. Along these project, there are some tendencies regarding to the study, for example, among the raw materials most commonly used in green diesel production presents the algae, as well as highlight the processes associated with the production of petrochemical diesel as the hydroprocessing. Together, to the inclusion of renewable diesel in the Brazilian energy matrix is essential to the implementation of government policies. In the international scenario, there is already the ability to produce green diesel in the US, Europe and Singapore.

Keywords: Sustainability, Aviation Biofuel, Diesel Green, Technological Trends and Competitive Intelligence.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Ciclo do carbono para a) Combustível fóssil e b) Biocombustível utilizados na aviação. 30

Quadro 2. Propriedades do diesel verde. 37

Quadro 3. Hidrogenação de triglicerideos por meio de três vias de reação proposta. 41

Quadro 4. Diagrama esquemático de produção de uma mistura de diesel e diesel verde com óleo vegetal HDO e gasóleo HDS. 43

Quadro 5. Plataforma biotecnológica da Solazyme. 47

Quadro 6. Processo UOP para a produção do diesel renovável. 48

Quadro 7. Processo NExBTL. 49

Quadro 8. Tecnologia Ecofining ™. 50

Quadro 9. Evolução histórica e projeções da demanda de transporte aéreo. 54

Quadro 10. Cenários de demanda (considerando 3% de crescimento anual) e oferta de combustíveis aeronáuticos. 55

Quadro 11. Projetos direcionados à produção do diesel verde. 61

Quadro 12. Matriz de Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças. 73

Quadro 13. As cinco forças que determinam a atratividade estrutural dos segmentos. 123

Quadro 14. Produção de diesel renovável em algumas empresas. 134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análise temporal - Distribuição de artigos científicos por ano. 84

Figura 2. Análise de localização - Número de artigos científicos por país. 85

Figura 3. Análise dos Periódicos - Artigos científicos por jornal. 85

Figura 4. Análise Universidades/Centro de Pesquisa - Distribuição dos Artigos por universidade ou centro de pesquisa. 86

Figura 5. Análise Meso de artigos científicos - Taxonomias. 90

Figura 6. Análise Micro de artigos científicos - Pré-tratamento da Matéria-prima. 91

Figura 7. Análise Micro de artigos científicos - Processos de Produção. 91

Figura 8. Análise Micro de artigos científicos - Principais reações dos Processos de Produção. 92

Figura 9. Análise Micro de artigos científicos - Matérias-primas. 93

Figura 10. Análise Micro de artigos científicos - Catalisador. 94

Figura 11. Análise Micro de artigos científicos - Equipamento. 95

Figura 12. Análise Micro de artigos científicos - Análises de Critérios. 96

Figura 13. Análise temporal-Distribuição de patentes concedidas analisadas por ano. 100

Figura 14. Análise de Localização - Número de patentes concedidas analisadas por país. 100

Figura 15. Análise do depositante em patentes concedidas. Empresas depositantes. 101

Figura 16. Análise Meso de patentes concedidas - Taxonomias. 102

Figura 17. Análise Micro de patentes concedidas - Processos de Produção. 103

Figura 18. Análise Micro de patentes concedidas - Principais reações dos Processos de Produção. 103

Figura 19. Análise Micro de patentes concedidas - Matérias-primas. 104

Figura 20. Análise Micro de patentes concedidas - Catalisador. 105

Figura 21. Análise Micro de patentes concedidas - Análise de Critérios. 105

Figura 22. Análise Micro de patentes concedidas - Micro-organismos. 106

Figura 23. Análise Micro de patentes concedidas - Equipamento. 106

Figura 24. Análise temporal-Distribuição de patentes solicitadas analisadas por ano. 108

Figura 25. Análise de localização - Número de patentes solicitadas analisadas por país. 109

Figura 26. Análise do depositante de patentes solicitadas - Empresas depositantes. 109

Figura 27. Análise Meso de patentes solicitadas - Taxonomias. 110

Figura 28. Análise Micro de patentes solicitadas-Processo de Produção. 111

Figura 29. Análise Micro de patentes solicitadas - Principais reações dos Processos de Produção. 112

Figura 30. Análise Micro de patentes solicitadas - Matérias-primas. 112

Figura 31. Análise Micro de patentes solicitadas - Catalisador. 114

Figura 32. Análise Micro de patentes solicitadas - Avaliação de Critérios. 114

Figura 33. Análise Micro de patentes solicitadas - Equipamento. 115

Figura 34. Análise Micro de patentes solicitadas - Micro-organismos. 115

Figura 35. Análise das forças de Porter na Indústria do diesel verde. 140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estratégia de busca de artigos científicos para o diesel verde. 80

Tabela 2. Estratégia de busca de patentes para o diesel verde. 81

Tabela 3. Estratégia de busca direcionada às principais empresas envolvidas com o diesel verde. 82

Tabela 4. Análise Empresas – Distribuição dos artigos científicos por empresa. 88

Tabela 5. Descrição das empresas com interesse no diesel renovável. 89

Tabela 6. Micro-organismos presentes na análise de artigos científicos. 97

Tabela 7. Foco dos documentos de Universidades/Centros de pesquisa em parceria com empresas. 98

Tabela 8. Foco do documento das empresas destacadas nas patentes concedidas. 107

Tabela 9. Análise Macro de patentes solicitadas-Universidades/Centros de pesquisa. 110

Tabela 10. Foco das invenções das empresas nas patentes solicitadas. 116

LISTA DE SIGLAS

ABRABA - Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação

AIE - International Energy Agency

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM - American Society for Testing and Materials

ATJ - Alcohol-to-jet fuel

AVgas - Gasolina de aviação

BTL - Biomass-to-Liquids

CAAFI - Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative

CDM - Continuous Diagnostics and Mitigation

CO - Monóxido de carbono

DEFSTAN- UK Defence Standardization

DLA - Defense Logistics Agency

DHS - Direct Sugar to Hydrocarbons

DTG - Derivative thermogravimetry

EIA - Energy Information Administration

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENI S.P.A - Public limited Italian Company

EPFL - École polytechnique fédérale de Lausanne

ETS - Emissions Trading Sistem

FAA - Federal Aviation Administration

FAME - Fatty acid methyl esters

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FID - Flame Ionization Detector

FT - Fischer-Tropsch

GC - Gas chromatograph

GC-MS - Gas chromatography–mass spectrometry

GD - Green Diesel

GEE - Gases de efeito estufa

HC - Hidrocarbonetos

HDT - Hidrotratamento Catalítico

HDO - Hidrodesoxigenação catalítica

HEFA - Hidroprocessamento de Ésteres e Ácidos Graxos

HDRD - Hydrogenation-derived renewable diesel

HRJ - Hydrotreated Renewable Jet fuel

HVO- Hydrotreated Vegetable Oil

IATA -International Air Transport Association

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial

IPC - International Patent Classification

IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change

Jet Fuel - Querosene de Aviação

JET A-1 - Querosene de Aviação tipo A-1

KIST - Korea Institute of Science and Technology

MEDEVAC - Medical Air Service

MIT - Massachusetts Institute Technology

MBPD - Million Barrels Per Day

Neste Oyj - Neste (limited company)

NExBTL - Renewable diesel fuel production process (Neste)

NMR - Nuclear Magnetic Resonance

NOx - Óxidos de nitrogênio

OGM - Organismo Geneticamente Modificados

PAC - Política Agrícola Comum

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PT6 - Pratt & Whitney Canada (motores de aeronaves turboélice)

PIB - Produto Interno Bruto

PM - Material particulado

QAV-1 - Querosene de para a Aviação Civil

RCLE-EU - Regime de comércio de licenças de emissão

RED - Diretiva Europeia de Energias Renováveis

RFP - Reversed-field pinch (reator de fluxo em pistão)

RFS - U.S. Renewable Fuel Standard

SPK - Synthetic Paraffinic Kerosene

SWAFEA - Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation

TGA - Thermogravimetric analysis

TRM- Technology Roadmapping

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

ULSD - Ultra-low sulfur diesel

UE - União Europeia

UOP LLC - Universal Oil Products (Limited Liability Company)

USAF - United States Air Force

USPTO - The United States Patent and Trademark Office

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 20
1. INTRODUÇÃO 20
1.1 Apresentação e importância do tema 20
1.2 Contextualização 22
1.3 Objetivos 25
1.4 Estrutura da dissertação 25
CAPITULO 2 27
2. ESTADO DA ARTE 27
2.1 Combustíveis de origem fóssil para Aviação 27
2.1.1 Gasolina de aviação (Avgas) 28
2.1.2 Querosene de aviação (Jet Fuel) 28
2.1.3 Diesel 28
2.1.4 Aspectos de mercado 29
2.1.5 Meio ambiente 29
2.2 Biocombustíveis para Aviação 30
2.2.1 Combustíveis renováveis hidroprocessados para aviação 31
2.2.2 Combustíveis Fischer-Tropsch 31
2.2.3 Biodiesel 32
2.2.4 Biohidrogênio líquido 32
2.2.5 Bioálcoois 33
2.3 Biocombustíveis aprovados comercialmente no setor de aviação 33
2.3.1 Bioquerosene 33
2.3.2 Biocombustíveis de segunda geração 34
2.4 Aspectos gerais do Diesel verde 36
2.4.1 Rotas de obtenção 38
2.5 Matérias-primas 43
2.5.1 Camelina 43
2.5.2 Jatropha 44
2.5.3 Algas 44
2.5.4 Resíduos 45
2.5.5 Plantas halófitas 45
2.6 Tecnologias para a produção de diesel verde na atualidade 45

2.6.1 Plataforma biotecnológica da Solazyme (Solajet ™).....45
2.6.2 Processo UOP para a produção do diesel renovável (UOP LLC).....47
2.6.3 Processo NExBTL.....48
2.6.4 Tecnologia Ecofining.....50
2.7 Avaliação de critérios para a implantação do Diesel Verde.....51
2.7.1 Custo econômico da produção.....51
2.7.2 A viabilidade técnica atual e futura com aeronaves.....52
2.7.3 Impacto na mudança climática global.....52
2.7.4 Análise de sensibilidade 53
2.8 Aspectos mundiais em relação ao Diesel Verde 53
2.8.1 Austrália e Nova Zelândia 56
2.9 Aspectos brasileiros em relação ao Diesel Verde 57
2.10 Regulamentação de combustíveis de aviação 60
2.11 Compromissos e colaborações da indústria 60
2.12 Considerações finais.....63
CAPITULO 3 66
3 O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E SUAS FERRAMENTAS 66
3.1 Análise de ambiente e inteligência competitiva.....66
3.2 Prospecção tecnológica 68
3.2.1 Cenários.....69
3.2.2 Entrevista.....71
3.2.3 A técnica de brainstorming.....71
3.2.4 Matriz SWOT.....72
2.3.5 Método Delphi.....73
3.2.6 Técnica de impactos cruzados.....74
3.2.7 Análise de tendências.....75
3.2.8 Data Mining.....76
3.2.9 Technology Roadmap.....76
3.3 Considerações sobre o capítulo 77
CAPITULO 4 78
4. METODOLOGIA E ESTUDO PROSPECTIVO.....78
4.1 Metodologia de Prospecção Tecnológica.....78
4.1.1 Artigos científicos.....80
4.1.2 Patentes Concedidas e Solicitadas 81
4.2 Resultados e Discussões.....83
4.2.1 Artigos científicos.....84
4.2.2 Patentes concedidas.....99

4.2.3 Patentes solicitadas.....108

4.3 Conclusões sobre a Fase de Prospecção Tecnológica: Diesel Verde..... 117

4.3.1 Cénarios Futuros 118

CAPITULO 5 121

5. ANÁLISE ESTRUTURAL DA INDÚSTRIA DO DIESEL VERDE NO SETOR DA AVIAÇÃO. 121

5.1 Forças de Porter..... 122

5.2 Análise das Forças de Porter na Indústria do Diesel Verde. 124

5.2.1 Barreiras à entrada de novos concorrentes.....125
5.2.2 Poder de barganha dos compradores.....127
5.2.3 Poder de barganha dos fornecedores.....128
5.2.4 Ameaça de produtos subtitutos.....130
5.2.5 Rivalidade dos Competidores Existentes.....133
5.2.6 Forças complementares.....135

5.3 Considerações Finais..... 140

CAPITULO 6 142

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 142

6.1 Considerações Finais.....142

6.2 Conclusões 143

6.3 Recomendações.....144

REFERÊNCIAS 146

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e importância do tema

A dependência por combustíveis fósseis permanece como o fator mais importante que afeta a distribuição mundial de riqueza, os conflitos globais e a qualidade do meio ambiente. Existem diversas possibilidades para substituir processos químicos convencionais por processos baseados em biocombustíveis. Porém, a indústria de combustíveis fósseis apresenta uma vantagem temporal, em torno de 100 anos, em relação aos estudos envolvendo biocombustíveis sustentáveis e suas tecnologias emergentes e indústrias portadoras de futuro.

Uma etapa fundamental para o desenvolvimento sustentável de uma Sociedade é a mudança da realidade dependente de combustíveis fósseis. Os impactos ambientais e a diminuição da oferta, decorrentes desses combustíveis representam uma realidade com a qual a sociedade e as autoridades governamentais precisam aprender a conviver, controlar e se adaptar, para possibilitar mudanças em muitos hábitos de consumo e comportamento, impulsionando e viabilizando o uso de biocombustíveis em um longo prazo. Apesar das vantagens reportadas no uso de fontes renováveis, um dos principais problemas neste tipo de processo está relacionado ao custo envolvido, tornando-o o fator economicamente limitante. Segundo Beginner's (2009), cerca de 85% dos custos envolvidos na produção de biocombustíveis está relacionado ao custo da matéria-prima utilizada.

Neste contexto, observa-se duas grandes tendências nas questões econômicas acerca do uso de combustíveis fósseis. A primeira relata que grande parte dos especialistas sugere que, nos próximos anos, o combustível fóssil se tornará mais escasso e consideravelmente mais caro do que nos dias atuais. Segundo o anuário Perspectiva de Energia Mundial (2010), as observações descritas pela Agência Internacional de Energia (AIE) indicam que a dependência energética atual de combustíveis fósseis é insustentável, tanto em termos de segurança de abastecimento quanto em impacto ambiental (OBSA, 2010). A segunda tendência é de que os biocombustíveis, oriundos de matérias-primas sustentáveis se tornem gradativamente mais baratos, uma vez que os estudos científicos e os modelos de negócios mais relevantes estão em constante processo de amadurecimento. Adicionalmente, o crescimento da população associado

à demanda por combustíveis e produtos químicos, tem aumentado a busca e o desenvolvimento para o uso mais diversificado de matéria-prima renovável, estimulando a indústria a passar por uma completa reestruturação, recorrendo ao uso de recursos renováveis para a realização de muitas transformações químicas.

O combustível de aviação é um derivado do petróleo que apresenta melhores características em relação à maioria dos combustíveis fósseis, em termos de qualidade. Isto se deve a maior demanda energética dos aviões em comparação a outros meios de transporte de menor porte, como os veículos. Com o crescimento da consciência ambiental, iniciou-se uma busca por combustíveis de aviação alternativos e ecologicamente corretos.

Em 1941, Sir Frank Whittle desenvolveu um motor de aviação a turbina e utilizou querosene como combustível. Desde então, o querosene se mantém como o material mais utilizado no abastecimento de jatos. Do ponto de vista econômico, o preço do querosene de aviação é muito dependente do preço do barril de petróleo, contribuindo para oscilações nos valores em um curto período de tempo. No período de julho de 2007 a julho de 2008, por exemplo, segundo o Departamento de Transporte dos Estados Unidos, o gasto com combustível de empresas que operam em voos domésticos e internacionais, passou de US$ 3,43 bilhões para US$ 6,42 bilhões, correspondente a um aumento de 96,58% em um ano (PONTES, 2014).

A legislação aprovada pela União Europeia (UE) em 2008, visando incluir a aviação no regime de comércio de licenças de emissão (RCLE-UE), determinou que as companhias aéreas paguem por suas emissões de carbono a partir de 2012. Vislumbra-se a possibilidade de que esses sistemas de comércio de emissões também sejam desenvolvidos em outras partes do mundo. De acordo com a legislação europeia ETS (Emissions Trading Sistem), essas tecnologias de combustíveis alternativos, que reduzem as emissões de poluentes em relação ao combustível convencional, tornam-se especialmente atraentes. Desta maneira, os Estados Unidos e outros governos estão caminhando para realizar investimentos significativos no desenvolvimento sustentável de biocombustíveis. Muitas empresas estão desenvolvendo métodos de refinar biocombustíveis, incluindo o uso de micro-organismos, geralmente bactérias, e outros processos biotecnológicos naturais, a partir do uso de matérias-primas mais baratas (BEGINNER’S, 2009). Os avanços nesta área sinalizam que, seguramente, o aproveitamento de matérias-primas renováveis, incluindo os seus resíduos, reverterá à dependência mundial por fontes fósseis, criando uma estrutura capacitada para atender às futuras demandas da humanidade por tecnologias mais limpas.

Diante do exposto, os biocombustíveis surgem como uma fonte alternativa, diversificando a matriz energética e reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis. Em suma, o "Renewable Diesel" (Diesel Renovável) ou Green Diesel (Diesel Verde) vêm ganhando destaque e tornando-se cada vez mais comum em várias partes do mundo, devido a sua produção a partir de matérias-primas cada vez mais diversificadas como óleos, gorduras e ácidos graxos derivados desses, com características semelhantes ao diesel de petróleo.

Sumariamente, a estratégia concebida para a elaboração do presente trabalho foi realizar um estudo de prospecção tecnológica, de modo a se compreender as principais tendências, no que tange os aspectos de processo, produto, catalisador e as oportunidades na aplicação do diesel renovável em substituição daqueles convencionais. Os motivos que corroboram com as justificativas para desenvolver a temática do presente são suficientes para incentivar o uso de diesel verde, contribuindo para romper a lacuna existe entre as tecnologias existentes e o conhecimento acerca deste combustível e suas características. Vislumbra-se ainda, contribuir para estimular trabalhos futuros pautados, fundamentalmente, na diversidade da matriz energética, de grande expressão no cenário nacional, dada potencialidade incontestável existente no país.

1.2 Contextualização

A indústria global do transporte aéreo contribui com cerca de aproximadamente 2% dos gases de efeito estufa gerados por ações do homem. O crescimento desse setor industrial nas últimas décadas, associado ao aumento em termos de eficiência, vem evitando que o cenário atual seja mais representativo. No entanto, com o constante crescimento do tráfego aéreo, a previsão é de que esta proporção aumente de forma significativa nos próximos anos (ABRABA, 2011).

Em resposta a esta previsão, a aviação civil em sua totalidade, desde empresas aéreas, fabricantes de aeronaves, sistemas aeroportuários e de controle de tráfego aéreo vêm trabalhando coordenadamente com uma série de metas para reduzir o impacto ambiental, de forma a manter-se como um instrumento do crescimento econômico. São metas que incluem a melhoria da eficiência de combustível em 1,5% até 2020, limitar as emissões da indústria a partir de 2020 e reduzir em 50% as emissões da indústria até 2050, tendo como linha de base o ano de 2005 (ABRABA, 2011).

Para que essa meta seja atingida é essencial a utilização de biocombustíveis *drop-in*[1], produzidos a partir de biomassas sustentáveis que não contribuam para o desflorestamento e, apresentem um balanço positivo em termos de emissão de CO_2, em comparação com o combustível derivado do petróleo.

Motivado pela crescente demanda em atender os requisitos para a redução de emissões de gases do efeito estufa na aviação, bem como fornecer caminhos para a segurança energética do Brasil, a ABRABA (Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação) coloca-se como um fórum para discutir os diversos aspectos do desenvolvimento de biocombustíveis aeronáuticos sustentáveis, com o intuito de posicionar o Brasil como um dos protagonistas mundiais detentores dessas tecnologias, a exemplo do que já é realizado no transporte terrestre.

Em diferentes regiões do mundo, empresas aéreas e fabricantes de aviões têm realizado voos utilizando combustíveis alternativos, principalmente com bioquerosene misturado ao querosene convencional de aviação, com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica desses combustíveis renováveis. Entre 2008 e 2010, foram realizados oito voos de demonstração com biocombustíveis produzidos a partir de diversas matérias-primas existentes no país, como o pinhão-manso (ABRABA, 2011). Como alternativa para os combustíveis à base de petróleo, uma série de estudos vem reportando o uso de fontes diversas, incluindo gorduras e óleos. Vários tipos de combustíveis podem ser derivados a partir destas matérias-primas contendo triglicerídeos. Cabe ressaltar a produção de biodiesel, definido como ésteres de mono-alquilo de óleos vegetais ou de gorduras animais, cujo processo pode envolver a transesterificação mediante etanol ou metanol, em condições brandas, e na presença de um catalisador básico.

Outro tipo de produto que pode ser obtido a partir de matérias-primas de lipídios é um combustível cuja composição simula o combustível diesel derivado do petróleo. Esse tipo de combustível, denominado “diesel renovável", é produzido a partir da gordura animal, óleo vegetal ou algum de seus diferentes resíduos, por meio de uma reação de hidrodesoxigenação, com condições elevadas de temperatura e pressão, na presença de um catalisador. Os processos de combustível renovável atualmente certificados para uso na aviação comercial incluem o combustível produzido a partir de um hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA), sendo também conhecido como combustível renovável hidratado na aviação, e o processo de biomassa para líquido (BTL), por meio do processo Fischer-Tropsch (FT) (ASTM, 2011). Os

[1] Totalmente compatíveis com as tecnologias atuais, podem ser misturados em proporções adequadas com o querosene de aviação de origem fóssil, sem necessidade de alterações nos motores, aeronaves e infraestrutura de distribuições já existentes (Llamas et al., 2012).

dois processos produzem uma gama de produtos que inclui o diesel, querosene de aviação e outros coprodutos. O processo BTL envolve a vaporização de uma mistura de biomassa e carvão, associado à conversão de gás em combustíveis líquidos sintéticos por um processo de FT. Um combustível produzido por meio de um processo FT foi certificado para a aviação pela ASTM D7566, em setembro de 2009. Atualmente, o Aeroporto Internacional Tambo em Joanesburgo usa uma mistura que compreende 50% de combustível sintético FT com combustíveis convencionais (KNOTHE, 2009).

A empresa BOEING identificou o "diesel verde", combustível renovável atualmente usado no transporte rodoviário, por uma frota de ônibus na cidade de São Paulo que utiliza o diesel de cana produzido pela Amyris, empresa norte-americana de biotecnologia, misturado ao diesel comum, que no ano 2013 aumentou de 300 para 400 veículos (BIODIESELBR, 2013), como nova e significativa fonte de biocombustível sustentável para aviação, emitindo 50% menos dióxido de carbono do que o combustível fóssil ao longo de seu ciclo de vida. A empresa está trabalhando com a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA) e com outros interessados em aprovar o uso do diesel verde nas aeronaves, com o intuito de reduzir ainda mais as emissões de carbono da indústria da aviação.

Já existe nos Estados Unidos, Europa e Cingapura uma capacidade de produção significativa de diesel verde, apta a suprir até 1% da demanda global por combustível de aviação comercial, correspondente a cerca de 2,3 bilhões de litros (600 milhões de galões). Incentivados pelo governo dos EUA, o custo no atacado, relativamente US$ 3 por 3,7 litros por galão, mostra-se competitivo em relação ao combustível de aviação derivado de petróleo (US $ 2.25/gal) (WINCHESTER, 2013).

No Brasil, de acordo com a Lei nº 11097, o Diesel Renovável também é biodiesel "biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição". Só que, na especificação de qualidade, a ANP estabelece mediante a Resolução nº 7 de 2008 que biodiesel trata-se de um éster. Apesar de uma Lei possuir força superior ao de uma resolução, seria prudente a ANP se pronunciar quanto à especificação do diesel renovável no Brasil, o que provavelmente será similar ao diesel de petróleo devido à enorme similaridade entre estes compostos (MENGHI, 2014).

Ante esse cenário, o Brasil é visto como uma das principais potências produtoras de biocombustíveis, devido a sua grande área territorial e fatores climáticos, que favorecem o cultivo de inúmeros tipos de biomassa, além do número expressivo de pesquisas nacionais nessa área. O Brasil tem todas as condições para obter combustíveis renováveis a partir de matérias-

primas como biomassa e resíduos oleaginosos. Para isso, deve-se construir uma agenda com o propósito de obter e aprimorar o desenvolvimento tecnológico na obtenção de combustíveis como “diesel renovável” e assim viabilizar a implementação de técnicas e/ou o melhoramento daquelas já existentes, em conformidade com os regulamentos estabelecidos.

1.3 Objetivos

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de prospecção tecnológica, de modo a se compreender as principais tendências tecnológicas, no que tange aos aspectos de processo, produto, catalisador e as oportunidades na aplicação do diesel renovável em substituição daqueles convencionais.

Os objetivos específicos a seguir podem ser:

- Identificar os diferentes combustíveis existentes aplicados à aviação, com base no aspecto ambiental e outros fatores importantes como rendimento, preço, matérias-primas existentes, entre outros.
- Analisar o panorama atual de diesel renovável, como combustível alternativo na aviação dentro dos cenários brasileiro e mundial.
- Realizar e avaliar um estudo prospectivo do diesel verde para compreender e apresentar o estado da arte no setor, os principais processos, insumos e matérias-primas envolvidos.
- Realizar uma análise estrutural da indústria do diesel verde para identificar as diferentes oportunidades desse produto no setor de aviação.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos. No Capítulo 1, é apresentada uma contextualização do cenário em que se encontram o objeto de estudo, os objetivos do trabalho e a organização do mesmo. No Capítulo 2, é realizado um estudo do estado da arte de temas relacionados ao trabalho como: Matéria-prima, Processo de Produção do diesel verde, catalisadores do processo, aspecto brasileiro e mundial em relação do diesel verde, regulamentação entre outros. No Capítulo 3, apresenta-se a

definição de prospecção tecnológica. No Capítulo 4, a metodologia geral utilizada no projeto de prospecção tecnológica é descrita, sendo apresentados os resultados do estudo prospectivo. No Capítulo 5, é apresentada a análise estrutural da indústria do diesel verde aplicando a metodologia das Forças de Michael Porter. No Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões e recomendações do estudo. Finalmente, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas ao longo do estudo.

CAPITULO 2

2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo são apresentados os diferentes aspectos teóricos referentes a temática abordada, enfatizando os conceitos mais importantes e necessários para a compreensão do trabalho.

2.1 Combustíveis de origem fóssil para Aviação

Os combustíveis aeronáuticos atuais são classificados em três grupos: gasolina de aviação (Avgas), o querosene de aviação (*Jet Fuel*) e o diesel. Durante muito tempo, a gasolina automotiva foi o principal combustível usado para abastecer os motores de aviação, seguida pela gasolina de aviação, bastante volátil e com baixo ponto de fulgor, propriedades de líquido facilmente inflamável nas temperaturas normais de operação. Com o acréscimo de aditivos no combustível, as misturas passaram a ser desenvolvidas entre os anos 1950 e 1960. O primeiro motor a jato, inventado pelo britânico Frank Whittle, usou o querosene denominado "iluminante[2]", uma vez que a gasolina encontrava-se escassa no Reino Unido, em decorrência dos esforços no período de guerra. Após aproximadamente 50 anos, o querosene não “iluminante” manteve-se como o combustível primário dos jatos, atendendo à demanda das companhias aéreas e das frotas militares. Nesse período, os avanços em *design* de motores de aviões expandiram rapidamente os envelopes de voo[3], exigindo novos padrões de qualidade do combustível. Isto culminou na introdução de uma variedade de tipos de combustíveis, para diversos fins e para o desenvolvimento de especificações, visando a garantir o atendimento aos requisitos em todas as condições de voo (GOMES, 2013). Diante do exposto, uma breve descrição desses combustíveis é apresentada a seguir:

---

[2] Composto formado por uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, naftênicos e aromáticos, com faixa de destilação compreendida entre 150 ºC e 300 ºC (Petrobras).

[3] Desenho com as limitações de voo de uma aeronave, segundo definição da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)

2.1.1 Gasolina de aviação (Avgas)

O tipo de Avgas mais utilizado pelos motores a pistão é conhecido como 100LL, ou 100 *low lead*, cujas características compreendem baixo teor de chumbo e reduzida octanagem, entre 100 e 130 octanas. Cabe ressaltar que, quanto maior a octanagem, maior será a capacidade do combustível de ser comprimido em elevadas temperaturas, na câmara de combustão, sem que ocorra a detonação.

A capacidade antidetonante da Avgas é garantida por um aditivo especial, chamado Etil-fluido. Devido aos problemas de manuseio, a utilização de Avgas é evitada em grande parte na aviação comercial, uma vez que contém o chumbo tetraetila, substância tóxica e cancerígena (GOMES, 2013).

2.1.2 Querosene de aviação (Jet Fuel)

O querosene de aviação, combustível utilizado nas aeronaves com motores a reação (turbinas), possui como requisito a permanência no estado líquido e homogêneo até a zona de combustão das aeronaves. Adicionalmente, apresenta resistência química e física às variações de temperatura e pressão, características boas como lubrificantes, essencial nas altas rotações desenvolvidas por esses motores. A especificação brasileira do QAV-1 é determinada pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), sendo compatível com o *Aviation Fuel Quality Requirements for Operated Systems* JET A-1 da *ASTM International* (*American Society for Testing and Materials*) (GOMES, 2013).

2.1.3 Diesel

Derivado da destilação do petróleo bruto e constituído basicamente por hidrocarbonetos, o diesel é um combustível composto, principalmente, por átomos de carbono, hidrogênio e baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. Devido à sua baixa volatilidade, o risco de incêndio é reduzido, bem como a formação de bolhas de vapor nas linhas de combustível (*vapor lock*), fenômeno responsável por boa parte dos incidentes de parada ou perda de potência em voo nos motores a gasolina, especialmente em grandes altitudes e subidas rápidas. A utilização do combustível diesel na aviação brasileira ainda não foi aprovada pelas autoridades

de aviação civil, em razão das variações em termos de qualidade do produto oferecido pelos fabricantes (GOMES, 2013).

É importante considerar e destacar alguns aspectos acerca do mercado e dos impactos ambientais destes combustíveis.

2.1.4 Aspectos de mercado

O sucesso do setor de transporte aéreo está fortemente ligado ao desenvolvimento econômico que, por sua vez, depende do grau de crescimento no setor. A concorrência entre as empresas de transporte aéreo está correlacionada com as vantagens competitivas e, depende do crescente aprimoramento tecnológico, com o intuito de reduzir os elevados custos de suas frotas.

Ao elaborar seus planos de negócios, as companhias aéreas consideram inúmeros fatores para escolherem determinada aeronave, que podem ser agrupados em dois níveis de importância: primários e secundários. No primeiro nível, considera-se o desempenho da aeronave, o alcance, o consumo de combustível e os custos diretos de manutenção. No segundo nível, são considerados requisitos como espaço, conforto, ruído externo e interno, tempo de solo entre voos e os custos de treinamento. No contexto do nível primário, dois fatores são alvos de preocupação no setor: o preço do combustível e a proteção ao meio ambiente (GOMES, 2013).

2.1.5 Meio ambiente

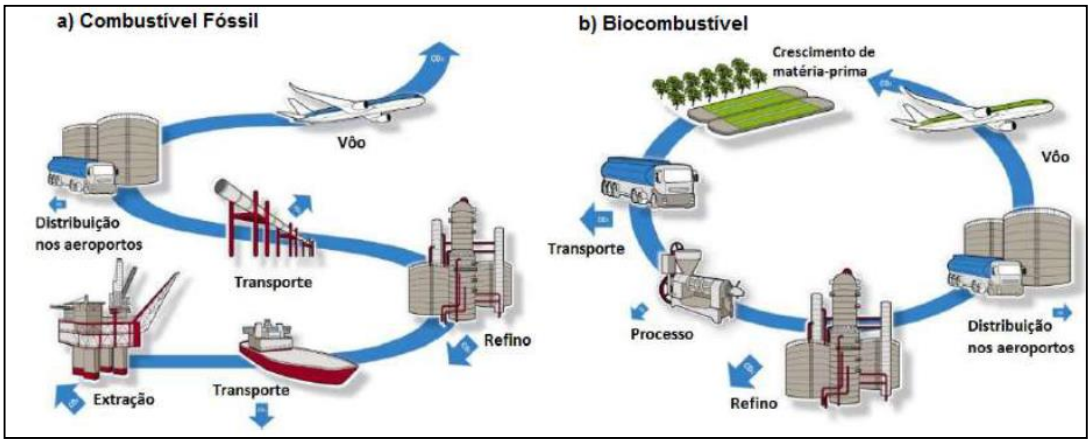
A tendência global em proteger o meio ambiente tem se tornado decisiva no planejamento estratégico das empresas de transporte aéreo. Essa tendência é o resultado de alguns fatores, tais como (GOMES, 2013):

- *Aumento das pressões governamentais, visando maior controle e diminuição dos níveis de ruído;*
- *Maior rigor no controle e na diminuição das emissões dos gases poluentes;*
- *Adoção de uma legislação padronizada e abrangente para a proteção ambiental com implementação de níveis cada vez mais exigentes.*

2.2 Biocombustíveis para Aviação

A indústria aérea experimenta melhorias substanciais na eficiência de combustível. A demanda por viagens aéreas continua aumentando, impulsionando a taxa de crescimento da indústria, com previsões otimistas acerca dos ganhos na aviação em termos de eficiência dos combustíveis. Concernente com essa projeção de crescimento, vislumbra-se que o setor não será limitado pela disponibilidade de combustível ou por reajustes indevidos. Em suma, o processamento de petróleo, os aspectos econômicos como a baixa rentabilidade e altos custos podem não ser capazes de manter o ritmo para atender à demanda mundial, favorecendo e impulsionando a utilização de combustíveis alternativos.

Os biocombustíveis, produzidos de forma sustentável, reduzem as emissões de CO_2 em seu ciclo de vida, em relação aos combustíveis fósseis. O dióxido de carbono, absorvido pelas plantas durante o crescimento da biomassa, é equivalente à quantidade produzida quando o combustível é queimado em um motor de combustão, retornando para a atmosfera (Quadro 1). Esse processo permite que o biocombustível receba a condição de carbono neutro durante o seu ciclo de vida (LLAMAS *et al*., 2012A).



Quadro 1. Ciclo do carbono para a) Combustível fóssil e b) Biocombustível utilizados na aviação.
Fonte: Adaptado de ENVIRO.AERO, 2011

A projeção de um modelo circular representa desta forma, uma enorme oportunidade com vários benefícios associados, nomeadamente de diminuição impacto ambiental, por meio da diminuição do uso de fontes fósseis como matérias-primas, impacto social, pela possibilidade de melhorar e prolongar as relações com os diferentes parceiros e impacto econômico, na medida em que representa um estímulo à criatividade na redução de custos e fomenta a criação de empregos.

No entanto, mesmo havendo um percentual de emissão de gases durante a produção dos biocombustíveis, espera-se uma redução das emissões globais de CO_2 de até 80% em relação aos combustíveis fósseis, resultante das etapas de processamento. Além disso, os biocombustíveis possuem quantidades menores de impurezas, tais como enxofre, permitindo uma maior redução na emissão de dióxido de enxofre e de fuligem (ENVIRO.AERO, 2011).

Os combustíveis de aviação alternativos podem ser produzidos a partir de uma diversidade biológica de fontes, apresentando uma série de benefícios, como: (1) redução de emissões de gases com efeito de estufa; (2) recursos renováveis; (3) compatibilidade com combustível convencional e (4) sustentabilidade. Atualmente, os combustíveis alternativos em desenvolvimento incluem os seguintes:

2.2.1 Combustíveis renováveis hidroprocessados para aviação

Os combustíveis renováveis hidroprocessados (HRJ) ou ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA), são geralmente líquidos parafínicos representados pela fórmula química C_nH_{2n+2}. O processo de produção reside na hidrodesoxigenação de óleos vegetais, gorduras animais, gorduras residuais, óleo de algas e bióleo, sendo a maior parte de produtos secundários água e propano.

Os HRJs são biocombustíveis de alta potência, que podem ser usados como combustível independentemente de mistura, apresentando vantagens acerca da redução na emissão de gases de efeito estufa, como o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (PM). Livres de compostos aromáticos e de enxofre, os HRJs possuem um alto número de cetano, associado a uma alta estabilidade térmica e reduzida emissão de gases. Além disso, possuem estabilidade para um armazenamento adequado e possuem resistência ao crescimento microbiano (THUSHARA, 2015).

2.2.2 Combustíveis Fischer-Tropsch

Os combustíveis de Fischer-Tropsch (FT) são combustíveis de hidrocarbonetos produzidos por conversão catalítica do gás de síntese ou *syngas* (CO e H_2). Uma ampla variedade de matérias-primas de biomassa pode ser utilizada para a geração de *syngas*. Os combustíveis FT são geralmente de queima limpa, livre de dióxido de carbono e hidrocarbonetos.

Os combustíveis FT são caracterizados por não apresentar toxicidade, nenhuma emissão de óxidos de nitrogênio, número elevado de cetano, reduzida emissão de partículas, baixo teor de enxofre e conteúdo aromático, entre outros. Ao contrário de muitos outros combustíveis alternativos, os combustíveis FT não precisam de infraestrutura especial para a distribuição, possuem qualidade significativa e são confiáveis para distribuição, podendo ser obtidos entre 2 e 3 milhões de barris por dia. As características peculiares dos combustíveis FT dependem da natureza da matéria-prima utilizada e as diferenças nas propriedades do combustível residem principalmente nas condições operacionais.

O processo FT é dispendioso e, geralmente, apresenta um valor de eficiência do processo entre 25 e 50%. Além disso, os combustíveis FT apresentam baixos valores de potência e economia de combustível, devido à menor intensidade de energia, característica do processo (THUSHARA, 2015).

2.2.3 Biodiesel

O biodiesel é definido pela Resolução ANP Nº 14, de 11.5.2012 - DOU 18.5.2012 como combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2012 (ANP,2012). Cabe ressaltar que, o biodiesel é biodegradável, possui excelente capacidade de lubrificação e apresenta vantagens de propriedades renováveis em sua origem. Além disso, não contém compostos aromáticos, não contém enxofre, não libera resíduos indesejáveis e tóxicos, possui uma alta redução das emissões de gases de efeito estufa, elevado ponto de fulgor, equilíbrio adequado de energia e uma apropriada miscibilidade com combustíveis de petróleo.

A densidade de energia do biodiesel é reduzida em comparação com o combustível de jato convencional, indicando que esse combustível ainda não é suficiente para ser usado como combustível de aviação (THUSHARA, 2015).

2.2.4 Biohidrogênio líquido

O hidrogênio líquido, produzido a partir de processos químicos e bioquímicos com o uso de diversas fontes de biomassa, está sendo estabelecido como um combustível alternativo de aviões. É capaz de produzir mais energia por peso em relação ao querosene de aviação convencional, mas requer elevado volume de armazenamento. A combustão de combustíveis

de hidrogênio líquido é feita com baixa emissão de gases de efeito estufa, em comparação com os combustíveis para aviação a base de petróleo. O principal problema é que o combustível líquido de hidrogênio não pode ser usado sem prévias modificações no motor de avião convencional. Alguns fatores devem ser considerados na obtenção deste biocombustível como: o custo de produção, a formação de alcatrão de carvão e de produtos secundários. Outro problema relacionado com a utilização de hidrogênio líquido é que, após a mistura com o ar, pode ocorrer a queima em baixa concentração, ocasionando problemas de segurança e armazenamento, uma vez que de hidrogênio líquido necessita de baixas condições de temperatura (THUSHARA, 2015).

2.2.5 Bioálcoois

Os bioálcoois são produzidos por processos de fermentação de açúcares ou por conversão catalítica de biogás, sendo o etanol e o butanol geralmente usados como combustíveis alternativos. Dada a sua elevada volatilidade, baixo ponto de fulgor e baixa densidade de energia, o etanol não pode ser utilizado para fins de aviação. Com o butanol, ocorre de forma semelhante. O álcool, como combustível de aviação, precisa de um sistema especial de infraestrutura de entrega e armazenamento, além de precisar modificações no motor. A elevada volatilidade do etanol provoca problemas de segurança durante as viagens de altitude e sua mistura com os combustíveis convencionais não se mostra viável, pois pode causar danos na aviação devido à fraqueza de algumas de suas propriedades (THUSHARA, 2015).

2.3 Biocombustíveis aprovados comercialmente no setor de aviação

2.3.1 Bioquerosene

O bioquerosene de aviação é definido pela Lei n° 12.490/2011 e pela resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) n° 20 de 2013, como combustível derivado de biomassa renovável destinado ao consumo em turbinas de aeronaves, produzido pelos processos que atendam ao Regulamento Técnico ANP nº 01/2013 (BRASIL, 2013). Esta resolução também menciona que o bioquerosene poderá ser adicionado ao Querosene de Aviação até o limite máximo de 50% em volume para o consumo em turbinas de aeronaves. No Regulamento Técnico são estabelecidas as especificações dos Querosenes de Aviação Alternativos SPK e suas misturas com o Querosene de Aviação (QAV-1).

Uma vantagem relevante do bioquerosene SPK é o fato de ser totalmente compatível com as tecnologias atuais e que, misturado em proporções adequadas com o querosene de aviação de origem fóssil, não requere alterações nos motores, se encaixando na modalidade “drop in” (ÅKERMAN, 2005; FILOMENA *et al.*, 2014).

De acordo com Reynol (2007), entre inúmeras vantagens da utilização do bioquerosene, uma das principais reside no fato de ser menos poluente em relação a aqueles de origem fóssil. Apesar de sua combustão também produzir dióxido de carbono, um dos gases do efeito estufa, os biocombustíveis acabam reduzindo esse dano ambiental em seu ciclo produtivo, uma vez que as plantas absorvem CO_2 e, portanto, compensam o carbono que será emitido na atmosfera durante a combustão.

Algumas empresas como a Air New Zealand, Continental Airlines, Japan Airlines e Virgin Atlantic, TAM, Azul e GOL realizaram voos experimentais com a utilização da mistura do habitual Jet A-1 com bioquerosene. Os resultados das análises pós voo demonstraram que o emprego desse combustível foi bem-sucedido. Em termos de emissões de CO_2, essas fontes, de fato, demonstraram ser, em alguns casos, até 80% mais eficientes do que o Jet A-1 (ATAG, 2009; PORTAL BRASIL, 2013).

2.3.2 Biocombustíveis de segunda geração

A produção de biocombustíveis de primeira geração, os quais utilizam tecnologias convencionais, e derivam de culturas como a soja, cana-de-açúcar e milho, que também são utilizados como fonte de alimentação para seres humanos e animais, tem levantado uma série de importantes questionamentos. Estes incluem mudanças no uso de terras agrícolas, o efeito sobre os preços dos alimentos e o impacto da irrigação, pesticidas e fertilizantes em ambientes locais (ENVIRO.AERO, 2011).

Além disso, como mencionado, alguns biocombustíveis, como biodiesel e etanol não são adequados para o uso como combustíveis em aeronaves comerciais. Muitos desses combustíveis não atendem as altas especificações de desempenho ou segurança para combustível de aviação. O foco da indústria da aviação é o biocombustível de segunda geração. Esta nova geração de biocombustíveis deve ser produzida a partir de tecnologias alternativas, aumentando rendimento e diminuindo custos e impactos ambientais, e de fontes de matéria-prima não alimentar (MIKULEC *et al.*, 2010).

Dessa forma, a literatura tem destacado como potenciais matérias-primas para produção de biocombustível de segunda geração a camelina, o pinhão-manso e algas, por serem culturas

que não competem com a alimentação. Além dessas matérias-primas citadas, destaca-se o licuri que não concorre com indústria alimentícia (EMBRAPA, 2007; BRUM *et al*., 2009).

As principais vantagens de biocombustíveis para a aviação são (ENVIRO.AERO, 2011):

- Benefícios ambientais: a produção sustentável de biocombustíveis resulta em uma redução das emissões de CO_2 em todo seu ciclo de vida;

- Oferta diversificada: biocombustíveis de segunda geração oferecem uma alternativa viável aos combustíveis fósseis e podem substituir o combustível tradicional de jatos, com uma fonte de combustível mais diversificada geograficamente, mediante o uso de fontes de matérias-primas não alimentares;

- Os benefícios econômicos e sociais: os biocombustíveis podem trazer benefícios econômicos para várias regiões, especialmente os países em desenvolvimento que possuem terras inviáveis para a produção de alimentos, mas que podem ser usadas para o cultivo de matérias-primas para a produção de biocombustíveis de segunda geração.

Em consequência do crescente interesse pelo tema, surgiram, nos últimos anos, diversas iniciativas internacionais que, além de incentivar a utilização dos biocombustíveis na aviação, buscam a identificação das biomassas, dos processos de transformação e estudos da sustentabilidade (DEMIRBAS, 2006; HEMIGHAUS *et al*., 2006; MIKULEC *et al*., 2010):

- Europa: SWAFEA (*Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation*) – Consórcio formado por institutos de pesquisa, universidades e indústrias com o objetivo de estudar os impactos do uso de combustíveis alternativos;

- Estados Unidos: CAAFI (*Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative*) – Programa que tem como objetivo estudar e propor alternativas para o desenvolvimento de combustíveis alternativos, focando o apoio em iniciativas que tenham resultado econômico no curto prazo;
- Japão e Nova Zelândia: Adotaram políticas voluntárias para a redução de emissão de dióxido de carbono no transporte aéreo e incentivam o uso dos biocombustíveis;

- Canadá e Índia: Trabalham em conjunto em um projeto de desenvolvimento de biocombustíveis, incluindo pesquisas com etanol e butanol (MORAES, 2014).

Entre os biocombustíveis de segunda geração destaca-se o diesel verde, o qual será o foco de estudo do presente projeto, detalhadamente apresentado a seguir.

2.4 Aspectos gerais do Diesel verde

O diesel verde, também conhecido como diesel renovável, é um diesel de origem renovável (óleos e gorduras vegetais) substituto do diesel petroquímico. Este combustível bioderivado não deve ser confundido com o biodiesel (FAME), uma vez que é produzido por hidroprocessamento catalítico de óleos vegetais e gorduras e não pelo processo de transesterificação. O hidroprocessamento catalítico é um processo de refino comum para aumentar a razão entre hidrogênio e carbono, diminuir a concentração de heteroátomos e metais. O hidroprocessamento catalítico de óleos vegetais está focado na obtenção de um produto de alta qualidade que é compatível com a infraestrutura existente da obtenção de combustível diesel. A tecnologia de produção do diesel verde consiste em dois passos, um passo catalítico com hidrogênio, que irá produzir as parafinas normais, e um passo de isomerização catalítica que vai conduzir a uma mistura de n e iso parafinas.

O diesel verde consiste principalmente de parafinas e é livre de compostos aromáticos, oxigênio e enxofre. Como resultado, este combustível parafínico tem maior índice de cetano e maior poder calorífico em relação à FAME. Outra vantagem é que não gera subprodutos do hidroprocessamento catalítico, ao contrário da FAME, que é acompanhada por glicerina. Além disso, como o hidroprocessamento inclui reações de dessulfurização, o diesel verde torna-se um produto com baixo teor de enxofre (<10 ppm) e suas emissões de gases de efeito estufa são muito baixas (GEE). O diesel verde pode ser produzido a partir de vários tipos de óleos vegetais, sem comprometer a qualidade do combustível, enquanto a colza e óleo de palma são os mais comumente usados (BEZERGIANNI, 2013).

As avaliações preliminares (CCE,2007; US DOE, 2010) indicam várias vantagens potenciais de diesel renovável em relação à FAME e o diesel petroquímico. Estas vantagens incluem:

• Pode ser usado diretamente nos veículos movidos a diesel sem modificação.

•. É compatível com a infraestrutura de distribuição de diesel atual e não necessita de novos ou modificados compartimentos, tanques de armazenamento, infraestrutura de transporte rodoviário ou estação de varejo.

• Pode ser produzido utilizando a capacidade da refinaria de petróleo existente e não requer instalações de produção novas ou extensas.

•. As propriedades do diesel renovável, especificamente o seu número alto de cetano, sugerem que irá fornecer o desempenho do veículo semelhante ou melhor do que o diesel convencional ultra-baixo de enxofre (ULSD).

• O teor ultra-baixo de enxofre do diesel renovável permite o uso de dispositivos de antecedência de controle das emissões.

• O processo de obtenção de diesel renovável por hidroprocessamento não gera um co-produto como a glicerina (CALIFORNIA, 2010).

As propriedades do diesel verde estão sintetizadas no Quadro 2.

Quadro 2. Propriedades do diesel verde.

	Combustível Diesel	**FAME (Colza) éster metílico**	**Diesel renovável (Após isom)**
Densidade (15 °C (kg/m^3))	835	885	775-785
Viscosidade (40 °C (mm^2/s))	3.5	4.5	2.9-3.5
Número de cetano	53	51	84-99
Ponto nuvem (° C)	-5	-5	-5 a -30
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	˜43	38	˜44
Poder calorífico (MJ/l)	36	34	34
Conteúdo poliaromático (wt %)	4	0	0
Teor de oxigênio (wt %)	0	11	0
Teor de enxofre (mg/kg)	<10	<10	<10

Fonte: Adaptado de BEZERGIANNI, 2013.

O diesel verde a diferença do biodiesel não apresenta oxigênio na sua composição final, o que permite que seja não inflamável.

2.4.1 Rotas de obtenção

As rotas de produção de combustível têm muita importância na determinação das suas características. O método adotado para produzir o combustível influencia na composição do produto, no custo de combustível, nas propriedades do combustível, na disponibilidade e no impacto ambiental. Os métodos geralmente utilizados para a produção de biocombustíveis de hidrocarbonetos envolvem dois tipos: processo termoquímico ou processo bioquímico (GROWING, 2010). Outros métodos utilizados para a produção de combustíveis alternativos são também apresentados.

2.4.1.1 Processo termoquímico

O processo termoquímico é a conversão da biomassa como combustível por pirólise, gaseificação e melhoramento. A pirólise é um processo de decomposição térmica da biomassa, na ausência de ar, que resulta na formação de bióleo e metano com outros produtos secundários (PROBSTEIN, 2006). A gaseificação envolve o tratamento de produtos de pirólise com ar ou vapor de água para produzir gás de síntese, que é uma mistura de hidrogénio e monóxido de carbono, que pode ser melhorado pelo processo FT (HORNE,1996).

A. Combustível líquido a partir de biomassa (processo BTL)

Este processo compreende a conversão de biomassa em combustível de hidrocarboneto líquido. Uma ampla gama de matérias-primas pode ser submetida a este processo, incluindo os resíduos municipais e agrícolas, celulose, madeira e algas (ICAO,2011). O processo envolve as seguintes etapas: o pré-tratamento da biomassa, gaseificação, purificação do gás de síntese e síntese FT ou pirólise seguido por hidroprocessamento (YOU, 2012). O método tem as vantagens de sustentabilidade, redução das emissões de gases de efeito estufa, entre outras.

B. Processo Fischer - Tropsch (FT)

O processo de Fischer - Tropsch compreende a conversão catalítica de gás de síntese (CO e H_2), que é produzido por gaseificação de biomassa para combustíveis líquidos de hidrocarbonetos de cadeia linear. A gama de hidrocarbonetos produzidos depende das condições do catalisador, pressão e temperatura do processo. O combustível de aviação produzido pelo processo FT a partir de diferentes matérias-primas, exibe propriedades semelhantes e são caracterizadas por baixo enxofre e aromáticos. Os combustíveis FT estão

agora recomendados para usar em mistura com combustível convencional para cumprir a exigência de lubricidade específica na ausência de enxofre (SWAFEA, 2011).

Uma vez que o combustível é livre de compostos aromáticos, o que provoca alguns problemas de fugas de combustível no motor, devido ao encolhimento do motor enquanto se mistura, estes problemas podem ser minimizados pela utilização de aditivos (HEMIGHAUS,2006). Embora, o processo possa utilizar uma ampla gama de matérias-primas como madeira e resíduos agrícolas, continua sendo bastante oneroso (ICAO,2011).

2.4.1.2 Processo bioquímico

O processo bioquímico envolve várias etapas de processamento da biomassa, de modo a se obter açúcares, que podem ser convertidos em álcool pelo processo de fermentação. (IATA, 2009). Existem estudos em curso para diminuir o custo das etapas de pré-tratamento, da hidrólise por enzimas e, viabilizar estudos voltados para o desenvolvimento de novos Micro-organismos, visando à otimização do processo. Os processos atualmente utilizados são:

- ✓ *Processo de açúcar direto a hidrocarbonetos (DHSC) e processo de álcool a jato (ATJ)*

O método inclui a fermentação ou conversão catalítica de açúcares da hidrólise da biomassa ou a partir de fontes de açúcar diretos, como cana-de-açúcar para combustíveis de hidrocarbonetos. As etapas do processo envolvem a hidrólise de biomassa, a fermentação de açúcares, purificação e hidroprocessamento. A conversão direta de açúcares a hidrocarbonetos não envolve a obtenção de álcool (FREIRE,2011).

O álcool formado por rota bioquímica ou termoquímica de carboidratos obtidos a partir da biomassa pode ser submetido a uma série de passos para formar combustíveis de hidrocarbonetos. O processo inclui principalmente 4 passos: desidratação de etanol, oligomerização, destilação e hidrogenação. Uma ampla variedade de matérias-primas em potencial pode ser utilizada para o processo, incluindo o amido, celulose, açúcar e resíduos. Além do processo não necessitar de grandes quantidades de energia, o método se torna ainda mais econômico pelo fato dessas matérias primas serem fontes abundantes e baratas (FREIRE, 2011).

Açúcar e amido podem ser convertidos ao álcool por fermentação direta, mas, a biomassa precisa sofrer um pré-tratamento para extração de açúcar, o qual é então diretamente

fermentado a álcool ou submetido a gaseificação, seguida por fermentação de gás (IATA, 2012).

- ✓ *Produção de bioálcool*

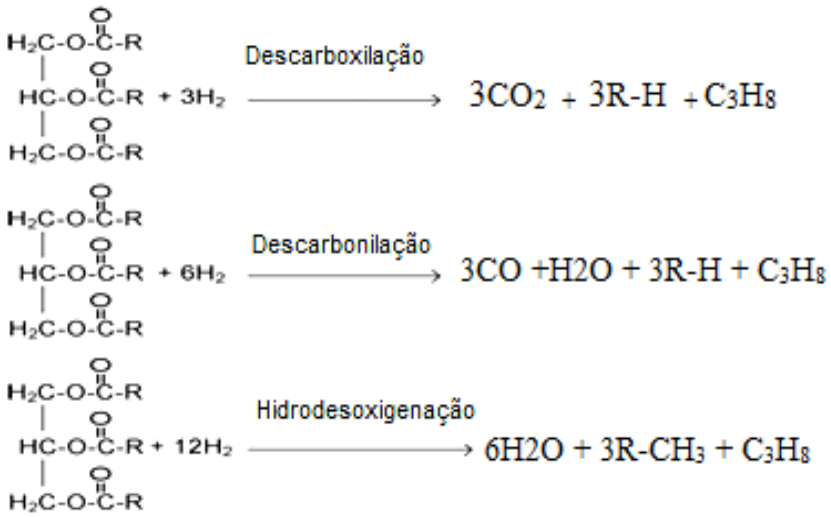
Os bioálcoois são produzidos por fermentação de carboidratos que resultam da hidrólise de biomassa. Fontes de biomassa, como milho e celulose são, inicialmente, hidrolisados para extrair os açúcares para fermentação, seguido de destilação para obtenção de bioálcool. Bioálcool pode ser produzido a partir de uma ampla variedade de matérias-primas, tal como madeira, resíduos agrícolas, resíduos florestais, entre outros. O metanol, etanol e butanol têm o potencial de utilização como combustíveis de transporte, mas eles não são adequados para usar como alternativas de combustíveis de aviação (SERRANO, 2012; THUSHARA, 2015).

2.4.1.3 Hidroprocessamento

O método de hidroprocessamento envolve o tratamento de gorduras e óleos na presença de hidrogênio (Hidrotratamento Catalítico, HDT) para a remoção de oxigênio da matéria-prima. O passo da hidrodesoxigenação é seguido por isomerização e craqueamento para obtenção de um combustível com as especificações desejadas, como propriedades de baixa temperatura. No método de hidrodesoxigenação, o oxigênio é removido com maior preferência como a água e o propano é um dos subprodutos. As matérias-primas mais promissoras utilizadas para a produção de combustíveis renováveis hidroprocessados para aviação (HRJ) são óleos vegetais como óleo de pinhão manso, óleo de camelina, óleo de algas, bióleo, gorduras animais e gorduras de resíduos que podem ser disponibilizados em abundância. O método é eficiente e pode produzir combustível de hidrocarbonetos com comportamentos melhorados de fluxo frio e um número elevado de cetano. Os combustíveis renováveis hidroprocessados para aviação são comparativamente econômicos (ICAO, 2011). A baixa lubricidade de HRJs pode ser melhorada com a mistura com combustível de jato convencional ou pela utilização de aditivos (PEARLON, 2011). Entres os fatores mais relevantes que influenciam o processo de hidroprocessamento encontram-se o processo de hidrotratamento catalítico e os catalisadores utilizados na obtenção do diesel verde.

A. Hidrotratamento Catalítico (HDT)

Diesel verde ou diesel renovável é produzido a partir do hidrotratamento catalítico (HDT) de óleos vegetais, gorduras animais, e os seus derivados (VOFD). Em condições típicas de HDT (300-380°C e 30-50 atm), os triglicerídeos são processados por HDO (hidrodesoxigenação catalítica) produzindo parafinas normais de cadeia longa. Estas parafinas têm um número de átomos de carbono perto do intervalo correspondente ao combustível diesel (C16-C20). O HDT de matérias-primas contendo triglicerídeos ocorre mediante três vias distintas. A primeira, descarboxilação, proporciona uma molécula de CO_2 por ligação de éster quando o triglicerídeo é hidrogenado; o segundo, descarbonilação, proporciona uma molécula de CO e de água por uma ligação de éster; o terceiro passo, é a hidrodesoxigenação (HDO), quando as duas moléculas de água por ligação de éster dos triglicerídeos são submetidas a HDT. No Quadro 3, são indicados os três caminhos. Em todos os casos, assumindo que as três ligações de éster em cada molécula de triglicerídeo são totalmente convertidas, o propano é produzido, o que pode ser recuperado e utilizado como combustível ou elemento em outros processos.



Quadro 3. Hidrogenação de triglicerídeos por meio de três vias de reação propostas**.**
Fonte: Adaptado de VORNOTAS, 2014.

O conhecimento da extensão de cada uma destas três vias, ou seja, a seletividade de diferentes tipos de catalisadores, é crucial para o consumo de hidrogênio (HCON) e deve ser considerado no tratamento de espécies gasosas produzidas. Das três vias, a descarboxilação tem o menor HCON, exigindo um mol de hidrogênio por ligação éster. A descarbonilação requer 2 mols de hidrogênio por ligação éster, enquanto que o caminho HDO é mais exigente,

necessitando de 4 mols de hidrogénio por ligação éster. É evidente que para um processo industrial, HDO é indesejável e os caminhos para promover as outras duas vias devem ser investigados e propostos para tornar esta tecnologia mais atraente (VONORTAS, 2014).

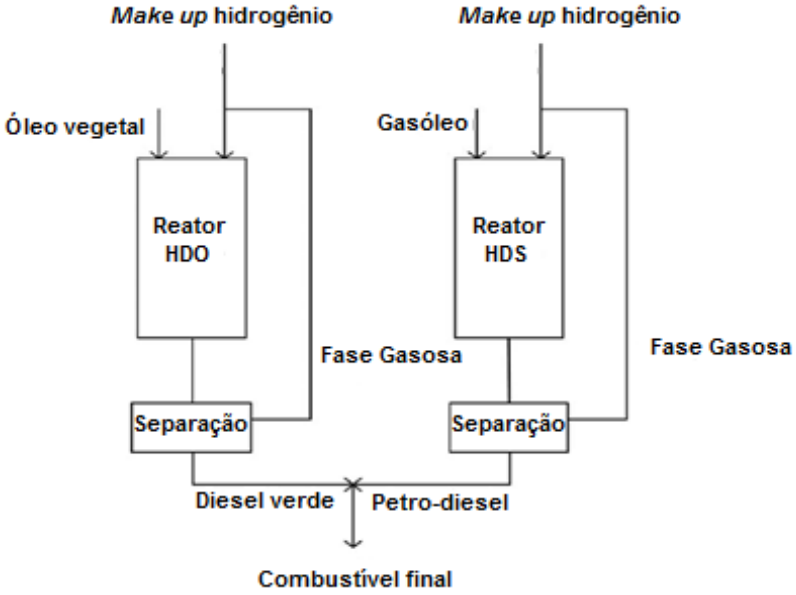
B. Catalisadores de hidrotratamento catalítico (HDO)

Para a eliminação efetiva do oxigênio contido nos grupos de triglicerídeos ou de ácidos carboxílicos dos óleos vegetais, em primeiro lugar, têm sido investigados os mecanismos de reação HDO. A remoção de oxigênio é imprescindível, pois leva a um combustível mais estável. Assim, com o conhecimento do mecanismo desta remoção e dos parâmetros envolvidos, a reação HDO pode ser direcionada para o resultado desejado.

Estes parâmetros são temperatura de reação, água, teor de compostos nitrogenados e enxofre, quando usado um catalisador de sulfureto. O oxigênio não se encontra presente apenas nas ligações de ésteres carboxílicos, mas também em carbonila, aldeído, cetona e moléculas de amidas. Os compostos modelo que têm sido amplamente utilizados são os ésteres e ácidos carboxílicos. Por enquanto, os catalisadores testados para esses compostos podem ser classificados geralmente em duas categorias, uma compreendendo os catalisadores utilizados para HDT das frações do petróleo, tais como $NiMo/Al_2O_3$ e $CoMo/Al_2O_3$, e a segunda, compreendendo qualquer sistema catalítico inovador com um ou dois metais ativos em suportes porosos.

A primeira categoria é importante por causa dos sistemas catalíticos, que permitem o hidroprocessamento de alimentações, consistindo de frações de petróleo e óleos vegetais e/ou gorduras animais, evitando custos de investimentos adicionais para as refinarias novas ou já existentes. Para esta finalidade, os pesquisadores testaram o desempenho de $NiMo/\gamma\text{-}Al_2O_3$ e $CoMo/\gamma\text{-}Al_2O_3$, usando dois compostos modelo como o hexanoato de metil e heptanoato de metil. NiMo foi considerado o mais ativo, ao passo que ambos os catalisadores sofreram desativação considerável. Os hidrocarbonetos foram produzidos em todos os casos, embora seguindo diferentes caminhos de reação (VORNOTAS, 2014).

O Quadro 4 apresenta o processo de hidrotratamento de óleo vegetal e gasóleo.



Quadro 4. Diagrama esquemático de produção de uma mistura de diesel e diesel verde com óleo vegetal HDO e gasóleo HDS. Fonte: Adaptado de VONORTAS, 2014.

2.5 Matérias-primas

As matérias-primas renováveis são recursos atraentes para a produção de combustíveis de aviação. As vantagens mais importantes residem em (1) sustentabilidade, (2) reciclagem de dióxido de carbono, (3) renovável, (4) tecnologia eco amigável e (5) menor dependência dos países fornecedores de petróleo. As matérias-primas geralmente favorecidas são culturas energéticas não alimentares como: algas, resíduos urbanos e águas residuais, resíduos da madeira, resíduos florestais e plantas halófitas. As características de algumas das matérias-primas renováveis são mencionadas a seguir.

2.5.1 Camelina

Camelina é uma cultura energética não alimentar com alto teor de óleo, cerca de 30-40%, com a vantagem de a planta precisar de menor quantidade de fertilizantes para o seu crescimento. A planta de camelina possui muitas vantagens, podendo crescer em solo infértil ou terras marginais é menos suscetível a doenças e ataques de animais. A camelina pode ser cultivada como cultura de rotação com o trigo e outros cereais, necessitando de uma entrada mínima. Os rejeitos contendo nutrientes, após a extração do óleo, podem ser usados como ração animal. O custo do óleo de camelina é pequeno ($0.40- $ 0,70 / gal.) e os mercados atuais são:

o Noroeste de USA e sul do Canadá. Em 2012, 200 milhões de litros de óleo de camelina foram produzidos apenas em USA. Uma vez que pode ser cultivada como cultura de rotação, pode resolver os problemas relacionados com a monocultura, tornando-se assim um benefício para os agricultores encontrarem lucros adicionais da terra. Caso contrário, a monocultura contínua pode causar diminuição do rendimento e destruição do solo (HERRERAS, 2010; REKOSKE; 2010).

2.5.2 *Jatropha*

Jatropha ou pinhão manso é uma cultura energética não comestível que pode crescer em terras marginais e, por isso não compete com as culturas alimentares. A planta de *jatropha* tem baixa umidade e é resistente a pragas, podendo crescer rapidamente inclusive em solo improdutivo, sob condições climáticas desfavoráveis. A planta tem um padrão permanente na produção de óleo com alto rendimento, com a possibilidade de continuar produzindo por 40 anos. A torta produzida após a extração do óleo não pode ser utilizada, uma vez que é tóxica, mas é rica em N, K e P, sendo aproveitada como adubo orgânico. O cultivo de *Jatropha* está ocorrendo atualmente na África do Sul, América do Sul e Central e Sudeste da Ásia. A produção de sementes de *Jatropha* também depende da localização, das práticas de manejo, variedades, entre outros fatores. Informações sobre a lavoura revelam que a planta exige irrigação para melhor desenvolver seu crescimento (VAN DER HAGEN, 2012).

2.5.3 Algas

As algas são uma solução atraente para os problemas de escassez de combustível por causa de seu alto teor de lipídios, alta taxa de absorção de dióxido de carbono, baixo uso do solo e taxa mais rápida de crescimento. O mais importante benefício com o uso das algas reside no fato de não afetar a produção agrícola, uma vez que não requer terra ou água de irrigação para sobreviver, o que favorece a redução da concorrência de alimentos como combustíveis. As algas podem produzir grandes quantidades de lipídios e carboidratos, utilizando luz solar, água e resíduos de dióxido de carbono e, portanto, podem desempenhar um papel crucial no tratamento de águas residuais. A biomassa produzida após da extração do óleo de algas pode ser usada como ração animal, para a preparação de bioplástico, para a nutrição e, a biomassa seca pode ser processada para a produção de energia. As microalgas têm sido amplamente investigadas para a finalidade de combustível, sendo de fácil cultivo, podendo ser colhida o ano todo. Em comparação com outras culturas energéticas, as algas podem produzir 30 vezes mais

rendimento por acre e, podem ser processadas para obter variedade de combustíveis renováveis (SINGH, 2011).

2.5.4 Resíduos

Resíduos provenientes de diferentes fontes podem se constituir em matéria-prima para a produção de combustíveis alternativos. Os resíduos de origem vegetal e origem animal, tais como resíduos alimentares, produtos de madeira, papel, resíduos florestais, resíduos industriais e agrícolas, resíduos domésticos, bagaço, resíduos animais e resíduos municipais podem se transformar em biocombustível por diferentes rotas. Devido ao baixo custo e por serem facilmente disponíveis, a utilização de materiais residuais para a produção de energia pode ser bem-sucedida para a tecnologia de gestão de resíduos sem a geração de alguns produtos nocivos. Resíduos municipais e lodo de esgoto estão amplamente disponíveis e são ricos em lipídios. A utilização de materiais residuais para a produção de biocombustíveis pode superar muitas dificuldades, tais como necessidade de fertilizantes, irrigação, terra e trabalho (KARGBO, 2010).

2.5.5 Plantas halófitas

Plantas halófitas são gramíneas que crescem em água salgada, onde outras espécies não poderiam crescer normalmente. As plantas halófitas são encontrados principalmente em regiões tropicais e subtropicais, desenvolvendo-se também em pântanos, lagos, costas litorâneas, áreas de deserto e no mar. A vantagem das plantas halófitas como matéria-prima é que também não competem com as culturas agrícolas (ABIDEEN, 2012, THUSHARA, 2015).

2.6 Tecnologias para a produção de diesel verde na atualidade

2.6.1 Plataforma biotecnológica da TerraVia-Solazyme (Solajet ™).

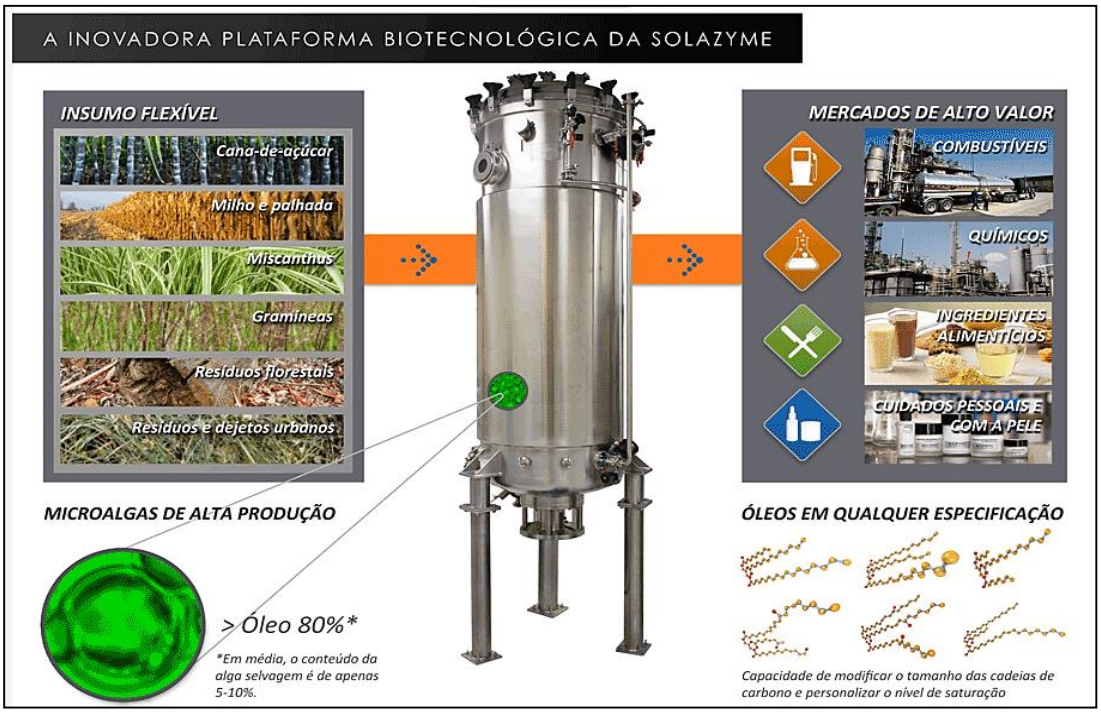
Solazyme, Inc. é uma companhia de óleo renovável e bioprodutos que transforma uma gama de açúcares à base de plantas de baixo custo em óleos de alto valor. Com sede em South San Francisco, os produtos renováveis produzidos pela Solazyme podem substituir ou melhorar os óleos derivados de três fontes do mundo já existentes como: petróleo, plantas e gorduras animais.

A empresa Solazyme, em parceria com líderes da indústria, desenvolveu biocombustíveis avançados derivados de microalgas menos poluentes e com melhor desempenho do que os combustíveis a base de petróleo. Os combustíveis renováveis limpos derivados de óleos da Solazyme fornecem respostas a questões complexas, como a escassez de combustível, segurança energética e impacto ambiental, enquanto encaixe perfeitamente na infraestrutura existente, sem necessidade de modificações no motor.

Entres os biocombustíveis que produz essa empresa encontra-se o Solajet, o qual é um combustível renovável de aviação refinado a partir de óleo de algas da Solazyme. Solajet ™ é o primeiro combustível de aviação derivado de micro-organismos no mundo para atender às especificações da indústria no setor da aviação comercial, ASTM D 1655. Solajet é compatível com a infraestrutura existente, oferecendo benefícios importantes, incluindo uma capacidade de carga mais rápida e o transporte em maior longitude; reduzido estresse térmico para as alas, inferior inflamabilidade, emissões inferiores de fumaça, maior tempo de armazenamento e, em última análise, menor custo de manutenção.

O processo da Solazyme aproveita a capacidade de algumas algas para produzir 75% do peso seco das células como óleo. No processo da Solazyme, as algas crescem eficientemente em zonas escuras, em recipientes de fermentação industrial a elevadas densidades celulares. Essas algas podem ingerir e metabolizar substratos de carbono fornecidos no meio de crescimento e convertê-los em triglicerídeos, sendo assim quase idênticas em composição aos óleos vegetais comuns. A quantidade de óleo produzido por litro por dia no volume de fermentador é significativo. A plataforma biotecnológica da Solazyme é apresentada no Quadro 5 (SOLAZYME, 2016).

As cepas de microalgas da Solazyme produtoras de combustíveis e diversos produtos químicos atingiram métricas-chave, que na atualidade permitiria fabricar óleos a um custo abaixo de US $ 1.000 por tonelada métrica ($ 3,44 por galão ou US $ 0,91 por litro) (BIOFUELS, 2015).



Quadro 5. Plataforma biotecnológica da Solazyme. Fonte: Adaptado de SOLAZYME, 2016.

2.6.2 Processo UOP para a produção do diesel renovável (UOP LLC).

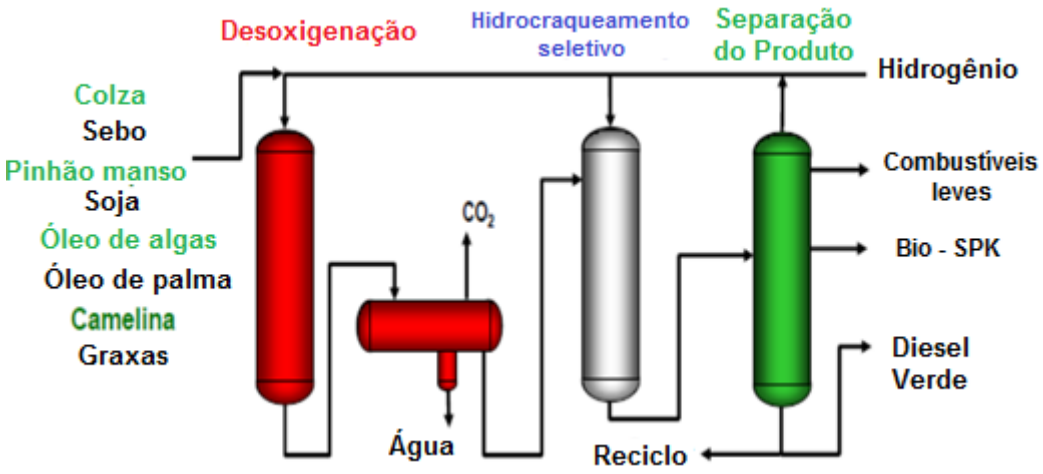
A empresa Honeywell é uma multinacional norte-americana que produz grande variedade de bens de consumo, serviços de engenharia e sistemas aeroespaciais para uma ampla variedade de consumidores, desde usuários domésticos até grandes corporações.

O combustível *Green Jet Fuel*, da UOP LLC, uma companhia da Honeywell, abasteceu 200 voos comerciais da GOL Linhas Aéreas durante a Copa do Mundo 2014 da FIFA™ no Brasil.

O *Honeywell Green Jet Fuel* foi desenvolvido a partir de óleo de milho não comestível e óleo usado de cozinha. Cada voo utiliza uma mistura de 50% de combustível ‘verde’ com uma base combustível de petróleo a jato, o que não exige mudanças na tecnologia das aeronaves e atende a todas as especificações críticas do voo.

A tecnologia UOP para a produção de combustíveis renováveis de aviação foi desenvolvida em 2007. O processo é totalmente compatível com a tecnologia existente de hidroprocessamento, utilizado nas refinarias para fabricar combustíveis de transporte (HONEYWELL, 2016). O processo UOP produziu mais de 1 milhão de litros de *Honeywell Verde Jet Fuel* para as Forças Armadas dos EUA e parceiros de aviação comercial. O combustível foi usado para testar, demonstrar e aprovar plenamente o uso deste combustível.

As normas internacionais ASTM aprovaram os biocombustíveis de aviação feitos a partir de óleos naturais para o voo comercial em 2011. A empresa UOP maneja um sistema de biorrefinaria apresentado no Quadro 6.



Quadro 6. Processo UOP para a produção do diesel renovável.

Fonte: Adaptado de HONEYWEL, 2016.

O processo UOP possui as seguintes características:

- A matéria-prima é flexível.
- O processo foi otimizado para obter 50 % de rendimento em SPK (Synthetic Paraffinic Kerosene).
- Obtenção de co-produtos de hidrocarbonetos de alto valor agregado: Diesel verde, Naptha verde e LPG verde.
- Capacidade de oscilar em qualquer lugar entre a produção máxima de SPK e diesel verde para atender a demanda do mercado (HONEYWEL, 2016).

2.6.3 Processo NExBTL.

A Neste Oyj é uma empresa de refino independente líder no Norte da Europa, com foco em produtos de petróleo de alta qualidade para um tráfego mais limpo. Com uma forte história de 60 anos de refino e de pesquisa na indústria do petróleo, Neste Oyj tem sido uma pioneira na liderança de novas tecnologias em combustíveis para melhor desempenho e favorável para o meio ambiente.

A empresa Neste Oyj desenvolveu uma tecnologia de produção de diesel renovável de qualidade premium NExBTL que permite o uso flexível de qualquer óleo vegetal ou resíduos e o produto corresponde à composição química do diesel tradicional.

A produção de combustível de aviação renováveis da Neste Oyj baseado na tecnologia NExBTL da empresa é apresentada no Quadro 7 (NESTE, 2015).

Quadro 7. Processo NExBTL. Fonte: Adaptado de NESTE, 2015.

O combustível renovável de aviação NExBTL pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito de estufa produzidos por uma aeronave em relação ao combustível fóssil. Além de diminuir as pegadas de carbono, também oferece menor emissão de outros poluentes como o NOx. Esse biocombustível é um hidrocarboneto puro comparável ao combustível de aviação de origem fóssil e é totalmente compatível com todos os motores atuais de aeronaves, não sendo necessários investimentos ou modificações adicionais. Em 2015, o diesel renovável produzido pela Neste Oyj reduziu as emissões de gases de efeito estufa cerca de 6,4 milhões de toneladas. Atualmente, a capacidade de produção de diesel renovável Neste Oyj é de 3 milhões de litros por ano (NESTE, 2015).

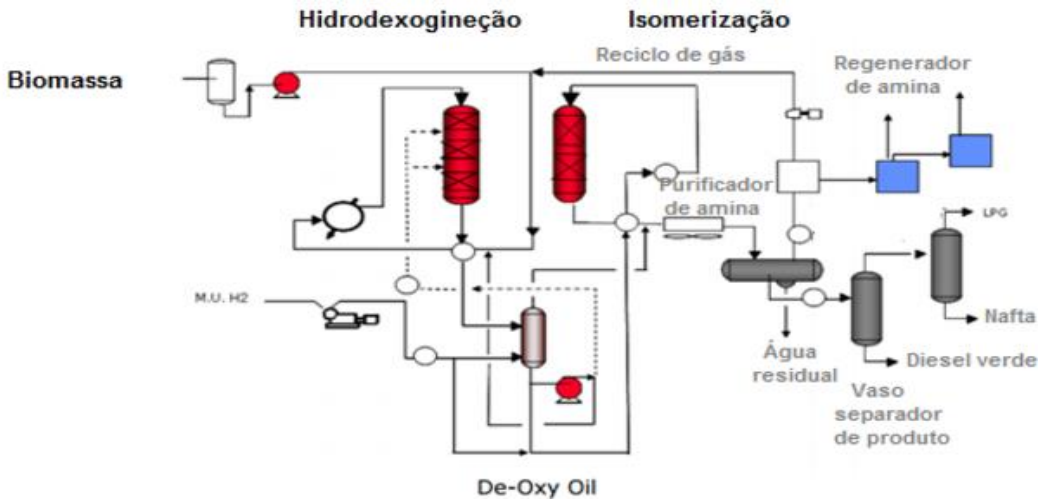
2.6.4 Tecnologia Ecofining.

A ENI é uma grande empresa de energia integrada, com o crescimento nas atividades de busca, produção, transporte, transformação e comercialização de petróleo e gás. A empresa tem operações globais em 85 países e emprega cerca de 82 mil pessoas.

O processo baseia-se na tecnologia Ecofining TM, desenvolvida por ENI e testada nos seus laboratórios, o que torna possível a produção de biocombustíveis sustentáveis de alta qualidade, reduzindo as emissões de partículas e melhorando a eficiência do mecanismo, de acordo com a legislação vigente e as diretivas da União Europeia (UE).

As matérias-primas de origem biológica utilizadas no processo são divididas entre matéria-prima de primeira geração (óleos vegetais em concorrência com a cadeia alimentar), segunda geração (gorduras animais, óleos usados e resíduos agrícolas) e de terceira geração (óleos de algas ou de resíduos urbanos).

A tecnologia Ecofining também é capaz de usar matérias-primas de segunda e terceira geração, antecipando possíveis atualizações na regulamentação (ENI, 2014). Em março de 2014 Eni anunciou planos para converter a refinaria *Veneza* (Itália) em uma "refinaria verde" para produzir HVO ("diesel verde", usando o processo de Ecofining ™ desenvolvido com a Honeywell-UOP). A instalação seria capaz de produzir HVO, bem como a nafta, GLP e, potencialmente, biocombustível de jato. A planta teve o objetivo de começar a produzir 300.000 toneladas de HVO em 2014 usando o óleo de palma, mas em planos futuros para usar gorduras residuais e óleos animais, óleos de algas e outros resíduos como matérias-primas. O Quadro 8, apresenta essa tecnologia.



Quadro 8. Tecnologia Ecofining TM. Fonte: Adaptado de ENI, 2014.

O processo Ecofining ™ possui as seguintes características:

- O produto é um componente com alto número de cetano (CN> 80).

- Ausência de compostos oxigenados no produto diesel (maior densidade de energia).

- Podem ser processados óleos vegetais de baixo custo, o sebo e óleo usado de cozinha.

- Componentes estáveis na mistura (nenhum problema para manuseio e transporte).

- Produção de propano e nafta (disponíveis para produzir H_2 durante o processo).

- Baixa densidade, de modo que pode ser usado para promover correntes de refinaria de alta densidade.

- Produzido em uma unidade de tipo "refinaria" adotando o sistema de controle da qualidade e de manipulação dos combustíveis existentes.

2.7 Avaliação de critérios para a implantação do Diesel Verde

Existem muitas questões que devem ser consideradas para avaliar o potencial de um combustível alternativo específico. Incluem-se nesta avaliação, mas não estão limitados, o custo econômico da produção de combustível, a viabilidade técnica do combustível, o impacto do uso do combustível na atmosfera, em termos de mudança climática global e da qualidade do ar, e o uso eficiente dos recursos.

2.7.1 Custo econômico da produção

Um combustível só pode ser considerado sustentável[4] se puder ser produzido economicamente sem comprometer os recursos naturais envolvidos. Uma consequência da instabilidade do preço do petróleo é um aumento do custo econômico da produção que poderia ser suportado pelo mercado. O preço do combustível de aviação é definido pelo preço do petróleo no mercado. Muitos relatórios fornecem estimativas dos custos econômicos da produção de combustível, em termos do que é incorrido pelo produtor de combustível

[4] A sustentabilidade está diretamente ligada ao desenvolvimento de vários setores da sociedade, sem que estes agridam o meio ambiente.

(PEARLSON *et al*., 2013). Isso não deve ser confundido com o preço que seria pago por um consumidor de combustível, que será definido pelo preço de mercado para o combustível de jato convencional.

Partindo do princípio de que o produtor de combustível pode criar o seu combustível de aviação alternativo a um custo menor que o preço vigente de combustível de jato convencional, o mesmo será vendido pelo preço de querosene de aviação convencional de mercado para maximizar os lucros. No entanto, se o produtor e comprador de combustível entram em um contrato de longo prazo, então o produtor pode vender seu produto com um desconto para o combustível de jato convencional. As medidas políticas, tais como impostos e disposições legislativas a partir de qualquer uso de combustível renovável ou comércio de emissões, também influenciam o custo que está a cargo do produtor e do consumidor.

2.7.2 A viabilidade técnica atual e futura com aeronaves

A grande infraestrutura aeronáutica já é uma forte motivação para o desenvolvimento de combustíveis, que sejam compatíveis com a frota existente de aeronaves (drop-in). Os combustíveis alternativos que não satisfazem as características de desempenho oferecidas pelo combustível de jato convencional seriam obrigados a prestar substanciais benefícios para justificar o desenvolvimento de uma segunda infraestrutura mundial de abastecimento para apoiar um novo combustível. Qualquer combustível que seria usado com segurança e eficácia na frota existente deve cumprir a respectiva normatividade, que nos Estados Unidos são ASTM D1655 e D7655 (ASTM 2009a, 2009b).

2.7.3 Impacto na mudança climática global

Os combustíveis alternativos para aviação, criados a partir de recursos renováveis, oferecem o potencial para reduzir os gases de efeito de estufa (GEE) provenientes da aviação. No entanto, esta diferença só é observada quando as emissões do ciclo de vida do combustível são consideradas a partir da fonte de matéria-prima.

A análise do ciclo de vida dos combustíveis de aviação engloba as emissões provenientes do ciclo completo do combustível. Isso inclui a recuperação e transporte da matéria-prima do poço, campo, ou mina para a unidade de produção, o processamento desses materiais em combustíveis, transporte e distribuição do combustível para o tanque das aeronaves, e, finalmente, a combustão do combustível na aeronave (HILEMAN, 2014).

2.7.4 Análise de sensibilidade

É um método de decisão baseado num estudo técnico, seja de carácter financeiro, com o objetivo de determinar qual a viabilidade ou sucesso de um determinado projeto, ou de caráter de investimento, como um projeto de reorganização empresarial. Aborda também os aspectos relacionados com o lançamento de um novo produto ou mesmo a antevisão do eventual sucesso em um novo mercado. Esta análise e, consequentemente, a sua conclusão é, muitas vezes, fundamental para a tomada de decisão de um gestor ou investidor com vista à perspectiva positiva ou negativa do interesse em realizar um determinado investimento. A avaliação da sensibilidade é feita por meio de simulações possíveis para diferentes variáveis do projeto que constituem maior incerteza no futuro. De uma forma geral, varia-se o preço e/ou volume das vendas, alguns custos, taxas de câmbio e as condições de financiamento do projeto, tais como taxas de juro e prazos, determinando-se o impacto de tais alterações na rentabilidade do projeto.

2.8 Aspectos mundiais em relação ao Diesel Verde

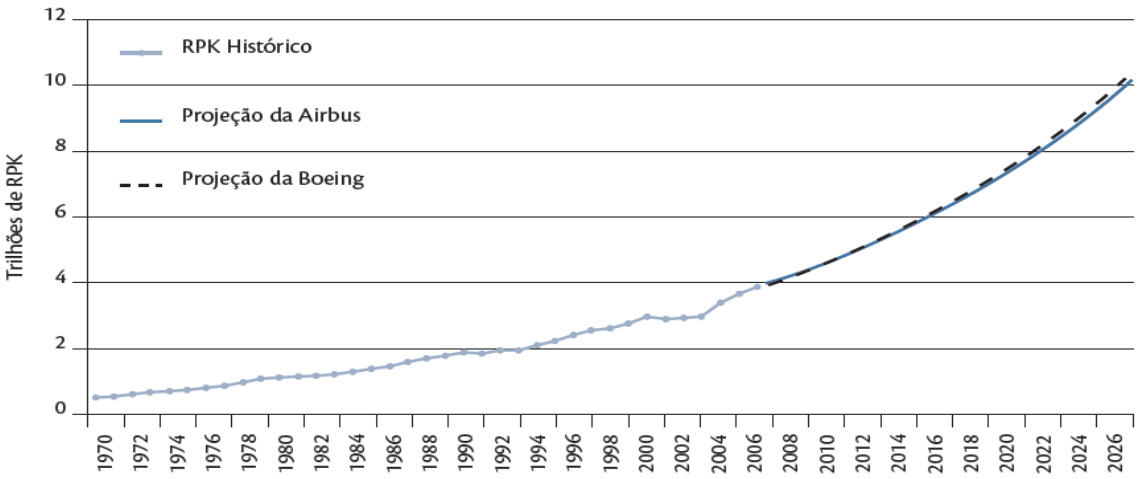
A preocupação mundial com as mudanças climáticas, associadas em grande medida ao uso de combustíveis fósseis, a volatilidade dos preços e as incertezas no abastecimento de petróleo, realizado majoritariamente a partir de regiões politicamente instáveis, tem motivado um crescente interesse por fontes renováveis de energia, em particular na forma de biocombustíveis. Atualmente, cerca de 2% do consumo energético no setor de transporte é atendido com combustíveis renováveis derivados de biomassa, como o etanol e o biodiesel (IEA, 2010). Esse quadro se estende também ao transporte aéreo, que apresenta poucas alternativas aos combustíveis convencionais, devido à sua dependência de combustíveis líquidos com alta densidade energética, que permitam longas autonomias de voo sem aumentar o peso e o volume a ser transportado. Nos últimos anos, esse setor tem se movimentado de forma intensa na busca de opções energéticas, em um esforço que envolve empresas energéticas, indústria aeronáutica, empresas aéreas e órgãos governamentais, evidenciando a importância desse tema.

O consumo de combustível nas aeronaves em todo o mundo respondeu por aproximadamente 11% da demanda energética no setor de transporte em 2006, contribuindo com 2% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) e se constituindo no maior emissor desses gases por unidade de transporte realizado (IPCC, 2009). A demanda global de querosene de aviação está ao redor de 5,5 milhões de barris por dia (mbpd), significando cerca

de 6,3% da produção das refinarias, sendo que 68% dessa demanda (3,76 mbpd) ocorre nos países da OCDE (IEA, 2010).

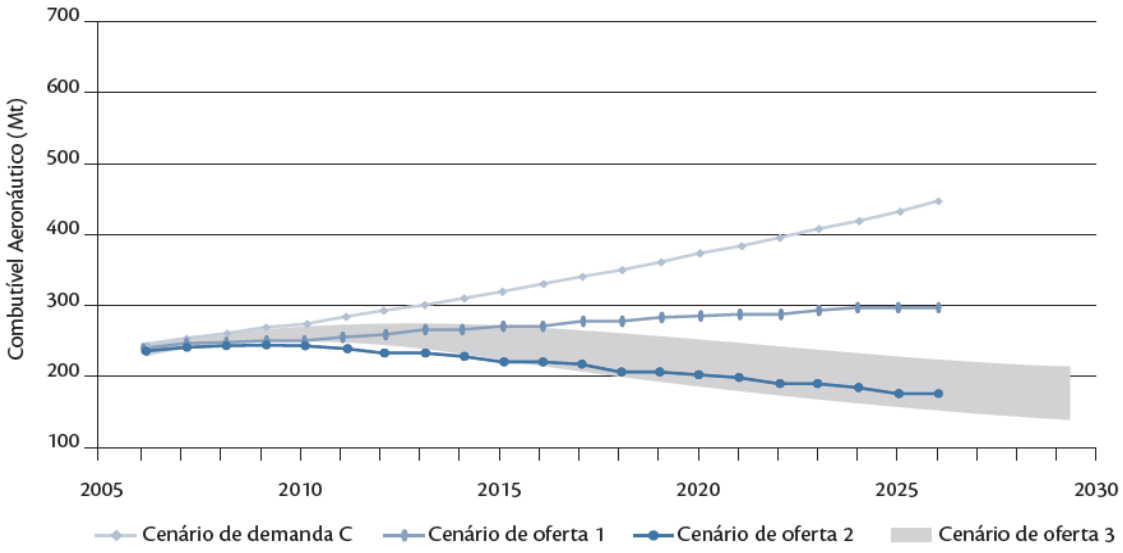
O crescimento do transporte aéreo de carga e de passageiros tem sido significativo e, mesmo com os ganhos possíveis de eficiência energética, estimados entre 30 a 50%, a demanda de combustíveis aeronáuticos tende a se expandir, com perspectivas de dobrar ou triplicar até 2050 (IEA, 2009).

Uma projeção da demanda de transporte aeronáutico para os próximos anos é apresentada no Quadro 9, desenvolvida no âmbito de um estudo das perspectivas do mercado de combustíveis para esse setor. Foi elaborada a partir das estimativas dos principais fabricantes de aviões e se alinhando com a tendência histórica, com crescimento de aproximadamente 4,9% ao ano no número de passageiros transportados e de 6,7% ao ano no volume de carga transportada.



Quadro 9. Evolução histórica e projeções da demanda de transporte aéreo, em RPK (*revenue passenger kilometer*) (NYGREN, 2009). Fonte: CGEE, 2010.

A observação dessa curva e considerações adicionais de ganhos de eficiência nos equipamentos e na operação permitiram inferir os cenários indicados no Quadro 10, que foram considerados os mais prováveis entre os diversos cenários explorados e evidenciam as perspectivas de dificuldades crescentes para o atendimento da demanda, em prazos relativamente curtos (NYGREN, 2009).



Quadro 10. Cenários de demanda (considerando 3% de crescimento anual) e oferta de combustíveis aeronáuticos (NYGREN, 2009). Fonte: CGEE, 2010.

Possivelmente, os biocombustíveis são a única alternativa disponível de imediato para a indústria da aviação progressivamente adotar formas mais sustentáveis de abastecimento energético. A indústria da aviação mundial tem como objetivo alcançar um crescimento neutro em carbono até 2020 e reduzir, até 2050, o dióxido de carbono (CO_2) em 50% em relação aos níveis de 2005 (IATA, 2009). Para atingir esses objetivos, a *International Air Transport Association* (IATA) delineou uma abordagem de quatro pilares que inclui tecnologia, operações, infraestrutura e medidas econômicas. Dos quatro pilares, a tecnologia é vista como a opção mais promissora para a redução das emissões. Esta inclui tecnologias melhoradas de motor, design de aeronaves, novos materiais de compostos leves e o uso de biocombustíveis que têm emissões significativamente mais baixas de gases de efeito estufa (GEE), se são comparados com o combustível convencional (IATA, 2009).

O uso de combustível renovável também é esperado para reduzir a volatilidade dos preços dos combustíveis (IATA, 2010). A aprovação de diesel renovável seria um grande avanço na disponibilidade de preços competitivos como combustível sustentável de aviação. A significativa capacidade de produção de diesel verde já existe nos EUA, Europa e Cingapura. Estes, porém, fornecem no máximo 1%, ou seja, cerca de 600 milhões de litros da demanda comercial global de combustível de jato. Os incentivos do governo dos EUA para o diesel verde fazem com que esse combustível se torne competitivo, comparado com o combustível de jato de petróleo, tendo o seu custo de aproximadamente de US$ 3,00 por galão. Esse caso, somado ao fato da Administração Federal de Aviação dos EUA (FAA) ter uma meta, elaborada em

2008, que visa que um bilhão de litros de combustível renovável sejam consumidos, a cada ano, pela indústria da aviação dos EUA, ajuda a aumentar o interesse nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico de combustível verde (WINCHESTER, 2013).

2.8.1 Australia e Nova Zelândia

A importância da aviação para a prosperidade econômica e o modo de vida na Austrália e Nova Zelândia tem sustentado um crescimento significativo no setor de aviação da região. Enquanto o setor da aviação deve continuar a atender à crescente demanda por serviços de transporte aéreo, a indústria entende que precisa diversificar e conservar suas fontes de combustível para o futuro e trabalhar no sentido de reduzir os seus impactos ambientais, particularmente as emissões de gases de efeito estufa. Em resposta a este desafio, a indústria de aviação global tem sido um dos grupos primeiros a definir metas ambiciosas de emissões de gases de efeito estufa, com o objetivo de alcançar um crescimento neutro em carbono a partir de 2020 e, registrar cerca 50 % de redução nos níveis, de 2005 até 2050 (WINCHESTER, 2013).

A utilização de aeronaves avançadas, conservação de combustível e a melhoria da gestão do espaço aéreo oferecem maneiras mais imediatas para mitigar o impacto ambiental da aviação. No entanto, contra a crescente demanda por transporte aéreo, esses esforços não são suficientes para uma redução global das emissões a longo prazo. O setor da aviação precisa de um substituto para o combustível à base de petróleo, para melhorar a sua capacidade em reduzir as emissões poluentes e abordar a segurança energética. Esta etapa é mais difícil para o setor de aviação, em relação ao transporte terrestre, pois o seu combustível é limitado por um conjunto mais rigoroso de segurança e tecnologia, além dos requisitos regulamentares.

O único combustível alternativo que pode cumprir todos os desafios ambientais, econômicos e técnicos é o combustível de aviação sustentável derivado de biomassa. Austrália e Nova Zelândia estão fortemente posicionadas para incorporar combustível sustentável na mistura combustível de aviação. A escala de produção de biomassa potencial da região é bem adaptado para as necessidades da indústria de combustível de aviação, quando as fontes de petróleo no mercado interno estão em declínio. No entanto, atualmente, os dados registram não há suprimento significativo de combustível de aviação sustentável mundialmente (WINCHESTER, 2013).

2.9 Aspectos brasileiros em relação ao Diesel Verde

Conforme mencionado, a indústria da aviação estabeleceu metas ambiciosas para reduzir as emissões de dióxido de carbono, visando crescimento com base sustentável. Apesar dos avanços possíveis na eficiência de uso de combustíveis, para alcançar as metas de redução de emissões da indústria serão precisos biocombustíveis produzidos de maneira sustentável que atendam às necessidades técnicas da aviação. Nos próximos 20 a 40 anos, a indústria fará uma transição para o uso de biocombustíveis sustentáveis em substituição aos combustíveis de aviação baseados em petróleo. O uso de biocombustíveis na aviação deverá ser eficaz, eficiente e vantajoso dos pontos de vista ambiental, social e econômico. Com esses objetivos em mente, Boeing, Embraer e FAPESP acordaram formalmente, em outubro de 2011, em investigar como o Brasil contribuirá para esse esforço. O resultado está descrito no *Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação*, uma avaliação nacional dos desafios e oportunidades tecnológicas, econômicas e de sustentabilidade, associadas ao desenvolvimento e à comercialização de biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil (PLANO DE VÔO, 2013).

A Universidade de Campinas (UNICAMP) foi escolhida para a coordenação desse estudo, com a responsabilidade de chefiar uma equipe de pesquisa altamente qualificada e multidisciplinar. O processo confirmou que o Brasil tem um grande potencial para fornecer biocombustíveis de aviação para os mercados doméstico e internacional. A equipe do projeto realizou oito *workshops* em todo o Brasil, incluindo São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília e Minas Gerais, com a participação ativa de mais de 30 *stakeholders*, abrangendo toda a cadeia de suprimento prospectiva de biocombustíveis para a aviação, incluindo a indústria, a agricultura, o governo, ONGs e a academia. A avaliação englobou a produção e fornecimento de matérias-primas, tecnologia de conversão, logística de fornecimento de combustível, sustentabilidade e políticas. Foram realizados, também, três *workshops* em âmbito regional, facilitados pela EPFL e 4CDM. O resultado desse esforço está sintetizado no *Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação*. Este *Roadmap* apresenta os passos para estabelecer uma nova indústria de biocombustíveis em substituição aos combustíveis de aviação à base de petróleo. Inclui recomendações para (PLANO DE VÔO, 2013):

- preencher lacunas de pesquisa e desenvolvimento na produção de matérias-primas sustentáveis;

• incentivar a superação de barreiras nas tecnologias de conversão, incluindo questões de aumento de escala;

• promover maior envolvimento e interação entre as partes interessadas privadas e as governamentais;

• criar uma estratégia nacional para fazer do Brasil um país líder no desenvolvimento de biocombustíveis de aviação.

O *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* foi financiado principalmente pela Boeing, Embraer, FAPESP e UNICAMP. O projeto contou também com a participação dos *stakeholders* abaixo listados:

A Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (AIAB), Amyris, Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Andritz, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Associação Portuguesa de Transporte e Trabalho Aéreo (APTTA), Bioeca, Byogy, Climate Solutions, Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Embrapa Agroenergia Ergostech, (General Electric) GE, GOL, Instituto Agronômico/ Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (IAC/APTA/SP), Aeronautics and Space Institute/Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (IAE/DCTA), The International Conference on Nuclear Engineering (ICONE), O Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (ITA/DCTA), LanzaTech, Life Technologies, Mount Rundle, Neste Oyj, National Wildlife Federation (NWF), Oleoplan, Petrobras, RSB, SG Biofuels, Sindicom, Solazyme, Unifei, Universal Oil Products (UOP), Universidade de São Paulo (USP), Weyerhaeuser Solutions, World Wide Fund for Nature (WWF), The Continuous Diagnostics and Mitigation (4 CDM).

A aviação civil é absolutamente crucial para a economia global. Segundo a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), o setor de transporte aéreo contribui com cerca de US$ 3,8 trilhões por ano para a economia global. Emprega 32 milhões de pessoas, transporta 42 milhões de toneladas de bens e conecta 2,8 bilhões de pessoas. Um voo internacional diário de longa distância resulta, anualmente, no movimento de 60 mil passageiros e na geração de 880 empregos, com impacto de US$ 26 milhões no PIB, US$ 10 milhões em salários e US$ 4 milhões em impostos (IATA, 2012). No Brasil, o transporte aéreo está crescendo rapidamente, acima da média global e, de acordo com projeções otimistas o Brasil se tornará o 4º maior mercado de tráfego aéreo doméstico do mundo (ANAC, 2015).

No período de janeiro a dezembro de 2015, a quantidade de passageiros transportados em voos domésticos no Brasil acumulou um crescimento de 0,3% em relação ao mesmo período do ano anterior. A Gol foi responsável pelo transporte de 35,0 milhões de passageiros, a Tam transportou um total de 31,4 milhões e a Azul figurou como terceira empresa com 20,2 milhões (ANAC, 2015).

A quantidade de carga paga transportada no mercado doméstico foi de 31,7 mil toneladas em dezembro de 2015, o que representou uma redução de 12,9% com relação a dezembro de 2014 (ANAC, 2015).

A demanda de transporte aéreo internacional, de janeiro a dezembro de 2015, aumentou 13,8% em relação ao mesmo período de 2014. A oferta internacional cresceu 15,3% no período. O número de passageiros pagos transportados por empresas brasileiras no mercado internacional em dezembro de 2015 atingiu 635,1 mil, aumento de 8,5% em relação a dezembro de 2014. Trata-se da maior quantidade de passageiros transportados em voos internacionais por empresas brasileiras registradas para o mês nos últimos dez anos. Com o resultado de dezembro de 2015, o indicador completou 21 meses consecutivos de crescimento (ANAC, 2015).

A quantidade de carga paga transportada por empresas brasileiras no mercado internacional alcançou 17,0 mil toneladas em dezembro de 2015, o que representou aumento de 5,6% com relação a dezembro de 2014.

A indústria da aviação brasileira, incluindo a EMBRAER, as principais companhias aéreas brasileiras, a BR *Aviation* e todas as agências reguladoras e instituições afins envolvidas, demonstraram compromisso com a introdução de biocombustíveis para aviação no Brasil. O transporte aéreo é indispensável à vida moderna, por isso um suprimento estável e seguro de biocombustível para aviação a um custo competitivo é crucial para a indústria de aviação crescer de uma maneira ambientalmente sustentável, cumprindo as metas de redução das emissões de carbono do setor.

O processamento de biocombustível para a aviação possivelmente terá de ser integrado, no mínimo, ao de biocombustíveis líquidos para os transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário, para ser competitivo em termos econômicos com os combustíveis fósseis. Escala e cadeia de otimização são cruciais para o negócio do combustível porque o custo do biocombustível para aviação "*drop-in*" é maior que o de biocombustíveis rodoviários. Apesar de caro, o processo de certificação da ASTM e o conceito "*drop-in*" a ele associado reduzem barreiras à introdução de biocombustíveis para aviação e devem ser levados em conta (PLANO DE VÔO, 2013).

2.10 Regulamentação de combustíveis de aviação

ASTM International

O combustível de aviação, convencional ou renovável, pode entrar na cadeia de abastecimento depois de ser certificado, satisfazendo padrões especificados. As especificações para combustível de aviação nos Estados Unidos e ao redor do mundo são estabelecidas por organizações normativas, como a ASTM International (anteriormente conhecida como Sociedade Americana de Testes e Materiais, www.astm.org) e Ministério Defesa do Reino Unido Padrão 91-91 (DEFSTAN, www.dstan.mod.uk).

A norma ASTM D1655 define as especificações para os combustíveis convencionais de aviação para uso comercial, como o Jet A e Jet A1. As normas para os combustíveis para aviação a partir de fontes não-petrolíferos são identificadas pela norma ASTM D7566. Para os combustíveis em conformidade com a norma ASTM D7566 são, atualmente, aprovados para a mistura com combustível de aviação convencional até um máximo de mistura 50/50.

O processo ASTM existente é demorado e caro, podendo ocorrer em até três anos, chegando a custar mais de US $ 30 milhões para os produtores (MASBI,2013).

2.11 Compromissos e colaborações da indústria

Com a necessidade crescente de combustíveis de aviação alternativos, existem diversos projetos e colaborações em desenvolvimento em todo o mundo. Existem muitos programas públicos e privados, incluindo universidades, institutos, empresas e organizações governamentais (OECD, 2012).

Todos os projetos têm como objetivo comercializar combustíveis de aviação renováveis por meio de diferentes formas e diversas fontes. As intenções importantes por trás do desenvolvimento de combustíveis de aviação renováveis são (1) diminuir a dependência de fontes de combustíveis fósseis não-renováveis, (2) reduzir os impactos ambientais, (3) uso de matérias-primas baratas disponíveis e (4) reduzir o custo do combustível.

Os compromissos atuais e as colaborações nesse campo são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11. Projetos direcionados à produção do diesel verde**.**

Programas públicos e privados	País	Projetos	Estado do projeto
IATA, American Society for Testing and Materials (ASTM), Conselho de Coordenação de Pesquisas (CRC), Departamento de Conservação (DOC), Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Centro da Defesa de Energia e Suporte (DESC), Organização Internacional da Aviação Civil (OACI), fabricante de Equipamento original (OEM).	USA	Matérias-primas, rotas de conversão e ampliação de escala. (A associação representa o desenvolvimento, certificação e verificação de combustível renovável e apoio às segurança energética e segurança ambiental e capitais de aviação)	Desenvolvimento
Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos EUA.	USA	Processo FT (Fischer Tropsch) e hidroprocessamento de jatropha, camelina, óleos de algas e gorduras animais.	Em teste
Biojet Corporation (South Pole Carbon Asset Management Ltd. Of Zurich, Suíça, Abundant Biofuels Corporation of Monterey, California, Mitch Hawkins & Co. Inc., of Santa Ynez, California)	USA	Associação com os desenvolvedores de algas e também usa óleos de pinhão manso e camelina como recursos.	Desenvolvimento
Energy & Environmental Research Center (EERC) e Defesa Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).	USA	Hidrodesoxigenação catalítica e isomerização (processo CHI). O método permite a utilização de matérias-primas, tais como óleo de camelina, óleo de algas, óleo de canola, milho, sebo e gorduras residuais	Industrializado
A água do mar global Inc., (GSI)	Reino unido e USA	Produção de combustíveis alternativos de aviação a partir de culturas de água salgada, como plantas halófitas. O trabalho é baseado principalmente em *Salicornia bigelovii*, que é	Desenvolvimento

		uma planta nativa da Europa, Estados Unidos, Ásia do Sul e África do Sul	
4Rentech, Inc.	USA	Processo FT e conversão de biomassa, resíduos verdes, resíduos municipais e resíduos sólidos para os combustíveis. O combustível de hidrocarboneto produzido pela empresa pode ser melhor, misturado com combustível convencional para ser usado em combustível de aviação militar e comercial.	Desenvolvimento
UOP	USA	Combustível renovável hidroprocessado, sintetizado para aviação, provenientes de várias fontes naturais, como óleo de camelina, óleo de algas, óleo de jatropha e sebo pelo processo de desoxigenação, isomerização e craqueamento. UOP está focada principalmente em hidrodesoxigenação de ácidos graxos livres.	Desenvolvimento
Amyris	USA/Brasil	Açúcar direto para processo hidrocarboneto (DSC)	Desenvolvimento
Solazyme Inc	USA	Produção de grande quantidade de óleo a partir de Microalgas	Desenvolvimento
Neste Oyj Corporation	Finlândia	Usam a biomassa para o processo de combustível que é bem conhecido como processo NExBTL. As matérias-primas utilizadas por são óleos vegetais, principalmente de jatropha e algas, bem como gorduras animais.	Industrializado
Boeing em parceria com Airbus	USA	Visam iniciar tecnologias de combustíveis inovadores	Desenvolvimento e teste
ABRABA (Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação)	Brasil	Projeto de colaboração dos institutos, indústrias e governo para a geração de combustíveis *biojet* sustentáveis.	Desenvolvimento

Fonte: Adaptado de THUSHARA, 2015.

A empresa Neste Oyj Company estabeleceu plantas para produzir os combustíveis para aviação renováveis com hidrogênio. UOP Honeywell, ENI e Galp Energia têm planos

para construir plantas de hidrotratamento ao redor do mundo (HAMELINCK, 2013). Aeroméxico, Air China, Air France, Finnair, Iberia e Air France KLM, Lufthansa têm realizado voos comerciais com passageiros, usando ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA) como combustíveis (WINCHESTER, 2013).

Em 2013, a United Airlines anunciou um acordo de compra com a empresa Altair para o combustível HEFA, a ser produzido na refinaria de Bakersfield. A planta iniciou a produção no início de 2015, com uma capacidade nominal de produção de 90 kt /ano de diesel renovável e combustível de jato.

A conquista tecnológica excepcional para 2014 é certamente a aprovação em junho pela ASTM da terceira via para a produção de combustíveis de jato alternativos. Esta nova via é referida como *"Isoparaffin Synthetic de Hydroprocessed Fermentado Sugar (SIP)"*, sendo anteriormente conhecida como "*Direct-Sugar-to-Hydrocarbon*". É um processo patenteado desenvolvido pela Total e Amyris, que usam fermentação avançada para converter açúcares em uma molécula de hidrocarboneto, o farneseno, que pode ser convertido em um componente combustível de jato por hidroprocessamento.

Em 2014, a Boeing também analisou a possibilidade de usar diesel verde a uma baixa relação de mistura, com o intuito de produzir combustível de aviação *drop-in*. Ao contrário do biodiesel convencional, que é um composto oxigenado e não indicado para uso em aviões, o diesel verde é produzido a partir de óleos vegetais e gorduras animais empregando o mesmo método como do combustível de jato bio HEFA (THUSHARA, 2015).

2.12 Considerações finais

O crescimento populacional e a associada demanda por combustíveis e bens de consumo têm intensificado a Pesquisa e Desenvolvimento para a utilização, de forma mais diversificada, de matérias-primas renováveis em substituição às fontes fósseis. Isso tem estimulado pesquisadores e empresas de diversos países, que contam com amplos mecanismos de apoio governamental, a buscar o desenvolvimento de novas tecnologias, visando à instalação de biorrefinarias análogas às refinarias de petróleo.

A utilização de biomassas residuais ganha ainda mais interesse e importância, na medida em que não demanda aumento da extensão de áreas aráveis. O que se tenciona é transferi-las da posição de resíduos sólidos para a posição de matérias-primas valiosas, visando a produção de combustíveis e de outras substâncias químicas. Os avanços nesta área sinalizam que,

seguramente, o aproveitamento de matérias-primas renováveis, incluindo os seus resíduos, reverterá à dependência mundial por fontes fósseis.

A produção de combustíveis alternativos de aviação a partir de recursos biológicos renováveis é uma tecnologia altamente promissora para substituir os combustíveis à base de petróleo. Entre os vários processos e combustíveis alternativos, o combustível *jet* renovável hidroprocessado (HRJ) e o combustível Fisher-Tropsch (FT) têm o potencial de substituir os combustíveis de jato convencionais.

A produção e comercialização de biocombustíveis de jato podem influenciar nos diferentes recursos como os alimentares, a terra, água e, a biodiversidade, consequentemente podem ocasionar impactos no setor econômicos e social. Cabe ressaltar que, a falta de incentivos e programas para aumentar a produção sustentável e distribuição de matéria-prima, além da falta de tecnologias de custo eficaz para a produção de biocombustíveis de jato tornam-se barreiras existentes que retardam a pesquisa neste campo. Dessa maneira, o futuro do combustível renovável de aviação ou o seu processo de produção não deve elevar a concorrência combustível-alimento, não deve causar impactos ambientais e deve ser sustentável com um custo aceitável.

Entre os diferentes biocombustíveis de aviação encontram-se o biodiesel e bioálcool, os quais não são utilizados comercialmente devido à suas propriedades não favoráveis, como no uso de hidrogênio líquido e combustível de metano líquido que esbarram no alto custo de produção e menor adequação aos motores convencionais torna-se pouco atrativos para as aeronaves. Dentro desta perspectiva, o diesel verde apresenta-se como uma alternativa viável no setor de aviação, em virtude da suas propriedades como a ausência de compostos aromáticos, oxigênio e enxofre. Além disso, este combustível parafínico tem maior índice de cetano e maior poder calorífico em relação à FAME. Outra vantagem é que não gera subprodutos do hidroprocessamento catalítico, ao contrário da FAME, que é acompanhada por glicerina, entre outras propriedades.

O processo de produção pode ser aperfeiçoado mediante a adoção de novas tecnologias e pelo uso de matérias-primas localmente disponíveis, incentivando o desenvolvimento regional. A participação das organizações governamentais, os investimentos das indústrias, políticas em longo prazo e outras parcerias irão fornecer mais oportunidades de emprego e ajudará a manter a sustentabilidade da produção e distribuição de combustível. O interesse crescente das organizações governamentais e internacionais pode ajudar à ampliação, comercialização e fornecimento da infraestrutura da cadeia em grande medida. A utilização de

materiais residuais a partir de diferentes fontes, as quais estão amplamente disponíveis como uma matéria-prima pode contribuir nas questões da redução de custos.

Sumariamente, a estratégia concebida para a elaboração do presente trabalho foi realizar um estudo de prospecção tecnológica, de modo a conhecer e compreender as diferentes tendências na cadeia produtiva do diesel verde no setor da aviação.

CAPITULO 3

3. FERRAMENTAS PROSPECTIVAS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

A partir da constatação de que o comportamento dinâmico e as inter-relações entre os componentes de uma sociedade, ou parte dela, provocam modificações nas demandas por tecnologias, e diante de uma época onde a utilização destas é considerada um componente determinante para a sobrevivência das organizações e, dessa forma, para o crescimento da sociedade como um todo, o desenvolvimento de novas tecnologias possibilita criar novas oportunidades e sinaliza para substituição ou integração com aquelas já consolidadas. As mudanças podem ser vistas como resposta uma série de forças de natureza política, social, econômica ou tecnológica, orientandas de acordo com as demandas de caráter global ou tecnológica.

3.1 Análise de ambiente e inteligência competitiva

A necessidade de aumento da competitividade por parte de organizações e países pode ser explicada, em parte, pelo aumento de comércio interno baseado em tecnologias de informação e comunicação. Isso tem levado o mundo ao efeito denominado “vila global”, fazendo com que os países e as organizações se encontrem frente a um mercado global altamente competitivo. Esse aumento nos níveis competitivos faz com que a antecipação das mudanças tecnológicas se torne um fator importante e necessário, induzindo empresa e indústrias no país a identificar novas operações com tomada de decisões apropriadas e de importância vital para consolidar o avanço tecnológico (DU PREEZ, 1999).

Concernente com essa realidade, as estratégias para o crescimento econômico sustentável, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, se baseiam em dois objetivos básicos:

- Desenvolvimento de uma indústria nacional e fortemente competitiva;
- Criação de condições para atrair os investimentos e os mecanismos para o crescimento econômico por meio de parcerias com outras nações.

Os países buscam promover suas políticas para o crescimento econômico, entre outros fatores, por meio do desenvolvimento e da utilização de novas tecnologias, investindo em ações para fortalecer a competitividade. MITCHEL (1999) cita como exemplo as três principais linhas da ação da política americana para o crescimento econômico:

- Investimento em educação e treinamento, garantindo mão-de-obra altamente qualificada;
- Investimento em infraestrutura, intensificando o comércio e situando os EUA como local de ideal para os negócios;
- Desenvolvimento de um ambiente de negócios, que encoraje investimentos, promova inovações tecnológicas e gere competência no setor privado (PIO, 2004).

Em um contexto de concorrência competitiva, onde as vantagens são construídas, os fatores tecnológicos tornam-se extremamente importantes. MARTIN E JOHNSTON (1999) determinam quatro fatores que alavancaram os estudos de prospecção tecnológica:

- A globalização e o aumento da concorrência econômica. De acordo com uma série de autores, o crescimento dos mercados, principalmente dos países emergentes, e o consequente aumento da produção, demandam cada vez mais sistemas estruturados de inovação e organizações e serviços baseados no conhecimento. Isto tem aumentado à relevância dos investimentos em ciência e tecnologia. Como tais investimentos são, a princípio, elevados e de certa forma arriscados, a utilização de ferramentas que possam auxiliar no direcionamento desses investimentos de forma mais confiável e consciente tem se tornado mais frequente entre países e organizações;

- A restrição e a justificativa aos gastos públicos têm se tornado comum em vários países, independentemente de seu grau de desenvolvimento. Assim, todo investimento público, além de justificado, deve mostrar seu grau de relevância ao país ou setor.

- As modificações sofridas pela gestão de produção, no que se refere ao aumento de flexibilidade nas tomadas de decisões, o trabalho em equipe e o maior enfoque nas relações empresa-cliente, bem como maior ênfase nos processos de “aprendizagem” e “conhecimento” suscitam a maior necessidade de se desenvolverem “visões

compartilhadas sobre o futuro da organização e os fatores sociais que afetam sua criação".

- As mudanças sofridas no processo de geração do conhecimento, que se caracteriza por uma maior interdisciplinaridade e heterogeneidade de áreas. Sua construção se dá mediante a contextualização de aplicação, onde se espera que ocorram parcerias e da criação de redes de informações entre pesquisadores e usuários, que de alguma forma se beneficiam com a pesquisa (PIO, 2004).

Tendo entendido esses conceitos, diversas ferramentas podem ser enquadradas como ferramentas de inteligência competitiva para análise de ambiente. A primeira delas, e mais tradicional, é a análise das Forças Competitivas de Porter. O modelo desenvolvido por Porter[5] permite a identificação e atribuição causal das principais forças que atuam no ambiente competitivo de cada empresa ou organização (BORSCHIVER, 2016).

Embora o futuro não possa ser predito de forma determinística, a possibilidade de antecipar o futuro tecnológico e seu desenvolvimento pode significar uma interessante vantagem competitiva, tanto para as empresas envolvidas, como para o país. É cada vez maior a percepção de que a capacidade de identificar tecnologias emergentes e a habilidade em avaliar o tempo de vida de uma tecnologia madura são fatores importantes, não só para o processo de gerenciamento da tecnologia, mas também para o aumento da competitividade (PIO, 2004).

3.2 Prospecção tecnológica

Os Estudos de Prospecção Tecnológica, também chamados de estudos de futuro, ou *forecast (ing)*, *foresight (ing)* ou *future studies*, fornecem as principais tendências no contexto mundial sendo possível segmentar estas tecnologias por setor da economia. Estes estudos auxiliam a identificação de tecnologias promissoras, úteis para uma determinada organização, bem como apontam para possibilidades de negócios e parcerias. A sistematização da prática de monitoramento tecnológico, a ser coberta pela prospecção tecnológica e de inovação, visa congregar a busca de soluções adequadas para a identificação e priorização de uma agenda de pesquisa e desenvolvimento (P&D), articulada com instituições de pesquisa, que possa

[5] Michael Eugene Porter (1947) é um professor da Harvard Business School, com interesse nas áreas de Administração e Economia. É autor de diversos livros sobre estratégias de competitividade.

inclusive influenciar agenda de P&D nacional e criar demandas para a cadeia inovadora do setor.

A análise prospectiva é o conjunto de conceitos e técnicas utilizadas para se antever o comportamento das variáveis sócio-econômicas, políticas, culturais e tecnológicas, bem como o efeito de suas interações. Para o autor, os estudos de prospecção são vistos como a primeira etapa do planejamento em diferentes pontos de espaços temporais. Estes estudos podem ser usados para conhecer as consequências futuras das opções de ações no presente e as influências imediatas de futuros variados. Os estudos prospectivos "tentam criar imagens do futuro, diminuindo a consideração do passado, porém nunca eliminado". Os métodos prospectivos que correspondem a uma exploração imaginativa e intuitiva partem de premissas estruturais baseadas no passado, mas que estão abertas em todo momento a mudanças.

Os estudos prospectivos devem ser utilizados para solucionar e entender problemas de alto grau de complexidade num período de tempo longo. Nestes estudos tanto os objetivos como as respostas aos problemas devem ser flexíveis para mudanças, pois devem ser levadas em consideração a dinâmica dos fatores externos e o grau de influência que esses possam ter em relação à organização ou sistema estudado. Os estudos são caracterizados pela sua multi e interdisciplinaridade, pelo seu grau de especulação, análise e pelo seu grau de criatividade. Em síntese, pode-se considerar que os estudos prospectivos são processos sistematizados de compreensão do futuro e podem ser de cunho social, econômico, político e tecnológico.

A literatura menciona inúmeros métodos de prospecção tecnológica. A seguir são listados alguns trabalhos de prospecção com foco industrial. Cabe ressaltar que, a ordem de citação de cada um não representa a importância (BORSCHIVER, 2016).

3.2.1 Cenários

Os estudos prospectivos podem, geralmente, ser auxiliados por um conjunto de cenários, que têm como objetivo abranger as possibilidades possíveis de determinados eventos, atores ou sistemas. A sua utilização nos estudos prospectivos foi iniciada por Herman Kahn nos EUA, nos anos 60, e pela DATAR (Delegation `a l'amenagement du territoire et à l'action régionale) na França.

Os cenários são conjuntos formados pela descrição de situações futuras. Um cenário é uma sequência de eventos hipotéticos, o qual é construído com o objetivo de focar os processos determinantes e os pontos críticos para a tomada de decisão. Os cenários são definidos como

conjuntos razoáveis e factíveis de futuros possíveis, devidamente estruturados. Eles são construídos através da explicitação das várias interpretações dos eventos que orientam a estrutura do ambiente de negócio.

Os cenários são descrições das realidades que estão em constantes interações. Eles buscam antecipar e entender os riscos e identificar opções estratégicas que não foram visualizadas. Seu uso possibilita às empresas ensaiar o futuro. Os cenários podem ser considerados como construções hipotéticas de eventos futuros, que possibilitam criar imagens de futuros, os quais são determinados através de interpretações qualitativas dos pontos críticos dos fatores exógenos que influenciam as organizações.

Como uma fonte de aprendizado em uma organização, os cenários são importantes, pois conseguem unificar as mais diversas e diferentes visões gerando um pensamento estratégico comum, desde os níveis intermediários até os tomadores de decisão, o que implica planejamentos estratégicos mais coerentes. Os cenários podem ser divididos em:

- Exploratórios: Estes consideram tendências do passado e do presente, que por sua vez levam à criação de futuros factíveis. Ressaltando a indeterminação do futuro, os cenários exploratórios trabalham com a complexidade dos fatores exógenos para determinar alternativas possíveis de futuro. Eles objetivam descrever, de forma conceitual e qualitativa, as possibilidades de evolução dos eventos presentes. Contudo, não se pode assegurar que algumas dessas possibilidades poderão vir a ocorrer.
- Normativos ou de Antecipação: Estes cenários são construídos tendo como base imagens alternativas do futuro. Os normativos podem ser divididos em desejados ou temidos. A característica básica destes cenários é considerar que o futuro pode ser construído com a aplicação do poder. São normalmente utilizados por organizações de planejamento estatal.
- Tendencial: Neste tipo de cenário, o futuro é determinado através da interpretação das tendências atuais das variáveis que afetam os fatores social, tecnológico, econômico, político e cultural. Analogamente ao futuro tendencial, esses cenários consideram que tais fatores não sofrerão mudanças, sendo o futuro, consequentemente, semelhante ao passado (PIO, 2004 apud BORSCHIVER, 2016).

3.2.2 Entrevista

A utilização da técnica de entrevista é utilizada quando se busca informações mais complexas e precisas. Podem-se obter informações que não constam de documentos oficiais, mas que podem ser relevantes para as conclusões do estudo. As entrevistas seguem um método padrão através do qual as perguntas são preestabelecidas. A seguir, aponta-se algumas regras básicas para se ter um bom processo de entrevista (VAN DER HEIJDEN, 1997; PIO, 2004):

- Iniciar a entrevista explicando os seus objetivos.
- Explicar qual será o fim das informações geradas e garantir o anonimato da organização e da pessoa entrevistada.
- Não fazer perguntas específicas pré-elaboradas, mas perguntas genéricas que possam ser utilizadas como alavanca para possíveis novos questionamentos.
- Escutar de maneira efetiva e interativa.
- Gerar um ambiente de confiança entre entrevistado e entrevistador.
- Não gravar a entrevista.

3.2.3 A técnica de brainstorming

A técnica de brainstorming é talvez uma das ferramentas de mais simples aplicação. Esta técnica consiste em formar um grupo, geralmente multidisciplinar, que tem como objetivo gerar o maior número de informações possíveis para identificar, por exemplo, fatores críticos de um determinado ambiente, pontos fortes e fracos de uma organização e soluções para determinados problemas existentes. As informações conseguidas em uma sessão de brainstorming poderão servir de base para iniciar um processo ou planejamento formal ou para se conseguir a solução para um determinado problema formal.

O brainstorming se inicia com a definição do tema a ser trabalhado e a formação do grupo de trabalho. Vale lembrar que este grupo deve ser o mais abrangente possível. A primeira etapa consiste em orientar, de forma clara, o grupo quanto ao objetivo do trabalho e as “regras do jogo”. Um coordenador iniciará o processo de coleta de informações, as quais serão escritas por um moderador, em um local de fácil leitura para todos do grupo (flip-chart, quadro negro/branco). Logo após esta primeira grande coleta de informações, pode-se fazer uma “filtragem” das informações geradas. Como uma ferramenta para os estudos de prospecção, o brainstorming gera uma lista de informações que, podendo servir como base de análise, irá

orientar as organizações na construção de cenários possíveis (PIO, 2004 apud BORSCHIVER, 2016).

3.2.4 Matriz SWOT

A análise SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threaten) tem como objetivo a avaliação dos fatores internos e externos que geram influência sobre a organização. Os fatores internos são denominados de forças e fraquezas. Pode-se conceituar força como um recurso ou capacidade da organização que pode ser usado efetivamente para que esta alcance seus objetivos. Fraquezas são limitações, falhas ou defeitos da organização que dificultam a busca de seus objetivos, sendo que alguns autores consideram que a força de uma organização pode se transformar em fraqueza, desde que se altere o contexto de determinado ambiente externo.

Os fatores externos são definidos como oportunidades e ameaças. As oportunidades são "tendências de situações ou acontecimentos externos à organização, que podem auxiliá-la no alcance de seus objetivos e de sua missão". As ameaças são "tendências de situações ou acontecimentos que podem prejudicar a organização na busca de seus objetivos e de sua missão". A identificação dos fatores externos deverá levar em consideração: os impactos e as consequências desses fatores, a probabilidade de ocorrência e o horizonte de tempo para a ocorrência.

Uma vez identificados os fatores internos e externos serão analisados em uma matriz (Quadro 12), buscando-se verificar a existência de relação entre eles. Nas linhas horizontais são colocadas, respectivamente, as forças e as fraquezas. Nas linhas verticais as oportunidades e ameaças. O grau de intensidade de impacto pode ser determinado ou através de numeração (3 – forte impacto, 2 – médio impacto, 1 – baixo impacto, 0 – não impacta) ou por letras (A – alto impacto, M – médio impacto, B – baixo impacto e N – nenhum impacto). Dos quadrantes gerados, pode-se considerar que o quadrante I demonstra uma potencialidade de ação ofensiva por parte da organização, pois esta pode aproveitar as oportunidades existentes através de seus pontos fortes. O quadrante II demonstra a capacidade defensiva da organização, pois esta é capaz de neutralizar ou minimizar as ameaças através de seus pontos fortes. O quadrante III indica os pontos de debilidade da organização, pois seus pontos fracos impedem o aproveitamento das oportunidades vislumbradas. O quadrante IV mostra os pontos de vulnerabilidade da organização, ou seja, as ameaças terão grandes chances de concretização devido às fraquezas apresentadas pela organização (PIO, 2004 apud BORSCHIVER, 2016).

	Oportunidades	Ameaças
Forças	Quadrante I	Quadrante II
Fraquezas	Quadrante III	Quadrante IV

Quadro 12. Matriz de Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças.
Fonte: Adaptado de BORSCHIVER,2016

A análise SWOT auxilia na orientação, de forma rápida, do foco para análise de cenários. Ela consegue mostrar que as áreas do ambiente são mais críticas à organização.

3.2.5 Método Delphi

O método Delphi foi desenvolvido por Olaf Helmes, na década de 60, e consiste em perguntar, de forma individual e através de questionários pré-elaborados, a um conjunto de peritos, sobre a tendência de futuro de um determinado fator crítico, sistema ou parte deste. A técnica Delphi tem como conceito o princípio de que várias cabeças pensam melhor que uma, quando se buscam conjecturas subjetivas sobre o futuro... e que os participantes irão montar conjecturas baseadas em julgamentos racionais e não simplesmente por achismos. A técnica Delphi é um processo de exploração das oportunidades futuras, que objetiva buscar um consenso através de uma combinação de questionamentos de estrutura qualitativa e quantitativa (PIO, 2004).

A técnica Delphi é utilizada em situações de julgamento e prospecção, nas quais os modelos estatísticos clássicos não são possíveis devido a uma suposta descontinuidade das informações e dados históricos, econômicos e técnicos. Neste caso, as informações oriundas das observações e inferências do julgamento humanos são necessárias. A técnica Delphi pode ser caracterizada por quatro pontos básicos: anonimato, interação, troca de informações e controle estatístico das respostas dadas. O anonimato é conseguido através da técnica de estruturação e envio de questionários. Este "isolamento" é importante porque se consegue a opinião de cada perito e não uma opinião obtida por um processo de discussão em grupo. Além disso, este procedimento permite que cada especialista se expresse sem a interferência de possíveis "pressões sociais", como por exemplo, a influência de opinião de um grupo ou de um especialista renomado (PIO, 2004).

As perguntas são feitas em várias rodadas, são ainda analisadas e refeitas para que os especialistas possam reavaliar suas primeiras posições e tentar chegar a um senso comum. O método busca convergir as opiniões dos peritos e levantar determinados pontos em comum sobre assuntos consistentes. O método Delphi é composto por dois grupos de trabalho.

Um grupo de especialistas ou especialista, que tem como objetivo elaborar estimativas, através de um processo de raciocínio lógico, as quais serão comparadas, corrigidas e complementadas em fases sequenciais de estimulação através das respostas de sucessivos questionários. O grupo de peritos é composto por pessoas que são reconhecidas pelo seu intenso conhecimento em uma parte do sistema estudado, pelo seu conhecimento superficial das outras partes do sistema e pelo grande interesse em participar de tais estudos. O nível de conhecimento de cada perito poderá ser explicitado por ele próprio, quando mediante uma pergunta específica de uma determinada parte do sistema em estudo.

O grupo de controle ou pesquisador tem como objetivo gerenciar o processo de julgamento de valores emitidos pelos especialistas, através do estudo analítico das opiniões coletadas, buscando não alterá-las ou descaracterizá-las e elaborando as sínteses das conclusões e o formato final do trabalho. A possível dispersão que poderá existir no tocante às respostas dos peritos, por sua característica de interação, poderá ser diminuída, até chegar a um consenso, através da realimentação das informações para os peritos. Logo, cada especialista terá a possibilidade de rever suas posições iniciais a cada rodada de perguntas.

O método Delphi pode ser dividido em três fases. Na primeira fase tem-se a definição da área de estudo e a confecção do primeiro questionário, levando-se em conta que os estudos Delphi são conduzidos, normalmente, com pelo menos duas rodadas. A elaboração do questionário deve considerar algumas características fundamentais: as questões devem ser precisas, passíveis de quantificação e independentes (PIO, 2004 apud BORSCHIVER, 2016).

3.2.6 Técnica de impactos cruzados

As Técnicas de Impactos Cruzados foram implantadas com o objetivo de complementar os resultados obtidos pelo método Delphi. Ela trabalha através de uma técnica de simulação para analisar as relações causais entre eventos. O método Delphi é deficiente por não levar em consideração a interação entre os fatores ou eventos. Em contrapartida, a análise de impactos cruzados considera que a ocorrência de uma determinada variável ou evento dependerá, em maior ou menor probabilidade, da ocorrência de outras variáveis ou eventos. As técnicas de

impactos cruzados buscam determinar os cenários mais prováveis dentre os cenários possíveis. Elas podem ser utilizadas após a aplicação do método Delphi e visam questionar os especialistas sobre os impactos de ocorrência de cada evento sobre os demais. Isto significa dizer que o método, segundo o autor, pode verificar "como a ocorrência ou não de um determinado acontecimento pode aumentar ou diminuir as chances que outros eventos tenham de ocorrer". Logo, as probabilidades absolutas conseguidas na utilização do método Delphi são "transformadas" em probabilidades condicionais.

Dentre as técnicas de impactos cruzados, a matriz de impactos cruzados desenvolvida por Helmer e Dalkey é considerada uma eficiente ferramenta para a determinação e análise dos fatores críticos de um sistema ou organização, pois ela se limita ao detalhamento das probabilidades e à estimativa dos impactos. Esta técnica é uma ferramenta de organização de fatores ou variáveis, internos e externos, e suas respectivas relações de impacto, buscando fornecer uma base para a construção de cenários.

Além das análises do grau de dependência entre os fatores ou variáveis, a matriz de impactos cruzados pode determinar, também, os fatores ou variáveis que exercem maior criticidade sobre o sistema ou organização (fatores motrizes) e aqueles de maior dependência. Os fatores motrizes são aqueles que possuem a capacidade de impulsionar uma organização ou sistema, pois eles impactam de maneira significativa todos os fatores de relevância para o sistema ou organização (PIO, 2004 apud BORSCHIVER, 2016).

3.2.7 Análise de tendências

A análise de tendências se baseia no pressuposto de que os comportamentos do passado serão mantidos no futuro. Esta análise utiliza técnicas matemáticas e estatísticas para extrapolar séries temporais para o futuro. Observa-se o comportamento de uma determinada variável ao longo do tempo passado e, em seguida, faz-se uma extrapolação em um horizonte temporal definido. Pode-se usar por exemplo, a regressão linear, que utiliza equações para relações diretas, e que podem ser utilizadas pra extrapolar o futuro e também para enquadrar relações não lineares, quando há possibilidade de transformá-las em formas lineares, a curva S, que considera a evolução tecnológica por meio de uma entrada lenta, seguida de um crescimento rápido e uma estabilização/queda e a técnica Fisher-Pry, técnica matemática usada para projetar a taxa de adoção pelo mercado de uma nova tecnologia. Tem como base o padrão conhecido como "curva de logística" (PIO, 2004 apud BORSCHIVER, 2016).

3.2.8 Data Mining

Processo de descobrir novas correlações, padrões e tendências significativas, por meio de consideráveis quantidades de dados armazenados em repositórios, por meio de tecnologias para reconhecimento de padrões e técnicas estatísticas e matemáticas.

3.2.9 Technology Roadmap

Dentro desta visão de prospectiva tecnológica e suas ferramentas, é possível inserir, com grande destaque pelo seu desempenho, a ferramenta objeto deste estudo, o Technology Roadmap, que tem como grande vantagem sua abrangência e versatilidade pois, além da análise do ambiente, possibilita monitoramento de concorrentes ao longo do tempo, estabelecer tendências de mercado, estudar trajetórias tecnológicas, perfil das empresas e identificação de oportunidades de novos negócios.

O *Technology Roadmapping* (TRM) é uma técnica de planejamento e gerenciamento corporativo, que vêm sendo utilizada para alinhar objetivos organizacionais e recursos tecnológicos em empresas de manufaturas e de serviços. Importante método para desencadear o planejamento tecnológico colaborativo, o grande advento da sua aplicação nas empresas em nível mundial reside no fato de ser um processo dinâmico, que possibilita a experiência de pessoas trabalharem em conjunto e traçarem caminhos para o alcance dos seus objetivos (BORSCHIVER, 2016).

A metodologia adoptada para realizar a análise de tendências da cadeia produtiva do diesel verde foi a seguinte:

- *Análise de artigos científicos e documentos de patente como fonte de informação científica e tecnológica (BORSCHIVER, 2016).*

A informação científica e tecnológica resume-se nos diferentes tipos de buscas que podem efetuar-se para obter conhecimento sobre tecnologias disponíveis, serve para orientação em pesquisas, teses e constitui-se uma excelente base de dados para novos investimentos na indústria.

Um dos mecanismos mais utilizados pela comunidade científica para a disseminação dos resultados das pesquisas é a publicação de artigos em periódicos científicos. Os resultados

de uma pesquisa científica necessitam ser formalmente divulgados para assegurar a autoria de quem os desenvolveu. Os periódicos devem publicar predominantemente artigos originais resultantes de pesquisa científica e/ou significativas para a área específica do periódico, porém os periódicos podem incluir outros tipos de contribuições, como artigos de revisão, comunicações, resenhas, relatos de casos, estudos comparativos.

Por outro lado, uma das formas de se verificar o desenvolvimento tecnológico sobre uma determinada tecnologia é a análise dos documentos de patente. As patentes apresentam-se como excelentes indicadores de inovação, pois podem servir para medir os resultados de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), produtividade, estrutura e o desenvolvimento de uma tecnologia/indústria específica. Em virtude da relação existente entre as atividades de P&D e o número de pedidos de patente, é possível comparar, monitorar e analisar as atividades de pesquisa em uma área temática específica ou um novo setor. Estatísticas em patentes têm sido usadas como indicadores de resultados em atividades relacionadas à invenção.

O número de patentes concedidas a uma dada empresa ou em um determinado país reflete o vigor tecnológico. Um exame nas tecnologias patenteadas pode produzir indicações da direção de mudanças tecnológicas. Os pedidos de patente depositados em um determinado país são considerados pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), governos e também por estudiosos em geral como um indicador dos avanços tecnológicos desse país.

Tendências em tecnologia podem ser definidas a partir de pesquisa em base de dados de patentes. Um fator a ser ressaltado, e que coloca as patentes como fonte de informação bastante interessante para a prospecção tecnológica e geração de mapas de conhecimento, reside na padronização das bases de dados em que as mesmas são veiculadas, o que permite tratar estatisticamente massas de dados com baixo risco de desvios (BORSCHIVER, 2106).

3.3 Considerações sobre o capítulo

Neste capítulo, são apresentados os conceitos relacionados aos processos sistematizados de compreensão do futuro que podem ser no âmbito social, econômico, político e tecnológico. Após da análise dos métodos conclui-se que a ferramenta mais adequada à proposta desta tese é a Análise de Tendências, devido à viabilidade e disponibilidade das bases de dados e a sua abrangência em diferentes áreas do conhecimento.

No próximo capitulo será realizada a análise de tendência da cadeia produtiva do diesel verde, através da análise de artigos científicos e patentes, que vai permitir uma melhor abordagem do tema.

CAPITULO 4

4. METODOLOGIA E ESTUDO PROSPECTIVO

O método de prospecção tecnológica empregado no presente trabalho foi pautado, fundamentalmente, em informações oriundas de pesquisas em documentos de artigos científicos, patentes e de mídia especializada. Os documentos de patentes e artigos científicos são uma potente ferramenta e um instrumento bastante eficaz no apoio à tomada de decisão, tendo em vista o estado da arte disponível no seu conteúdo, que permite identificar tecnologias relevantes, parceiros, concorrentes no mercado, rotas tecnológicas, inovações, investimentos, processos, produtos, PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação), fusões e aquisições, dentre outras. Além disso, a utilização de bases de dados padronizadas, com qualidade da informação, permite tratar estatisticamente volumes de dados com baixo risco de erros, que agrega valor ao conhecimento disponível.

Diante do exposto, o presente capítulo tem como objetivo descrever a metodologia de pesquisa, os resultados e análises do estudo prospectivo para a indústria do diesel verde.

4.1 Metodologia de Prospecção Tecnológica

A metodologia de pesquisa, empregada com o objetivo de mapear artigos científicos dentro do contexto da produção de diesel verde, consistiu em busca por palavras-chave na base de dados *Scopus* (http://www.scopus.com/). *Scopus* é a base referencial da Editora *Elsevier*. Ela é a maior fonte referencial de literatura técnica e científica revisada por pares. Dessa forma, a base *Scopus* permite uma visão ampla do que está sendo publicado cientificamente sobre um tema. Através dos mecanismos de busca, podem ser encontradas as informações publicadas por uma determinada instituição, ou um determinado autor. Ainda, através dessas ferramentas é possível obter uma versão visual de seus resultados, para ajudar a compreender e elucidar, por exemplo, em qual país há um maior número de documentos sobre um determinado tema abordado, bem como a área de conhecimento e uma série de outros benefícios (http://www.americalatina.elsevier.com/corporate/scopus.php).

Nesse contexto, a base de dados *Scopus* foi selecionada por apresentar grande abrangência, facilidade de *download* de um elevado volume de documentos, relevância significativa dos artigos científicos e análises Macro facilitadas pela própria estrutura do site.

O levantamento de informações, dentro do escopo do trabalho, oriundas de documentos de patentes consistiu em busca por palavras-chave e/ou classificação internacional de patentes (*International Patent Classification* - IPC) no Escritório Americano de Marcas e Patentes, o USPTO (http://www.uspto.gov/) e no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) (http://www.inpi.gov.br). Além da grande abrangência de informações, a página do USPTO oferece acesso a duas bases de dados de patentes, uma de Pedidos de Patente (Patentes Solicitadas) e outra de Patentes Concedidas nos Estados Unidos. Tal funcionalidade é muito importante para a metodologia de construção do *Roadmap* Tecnológico. O INPI é a base referencial no que tange ao conjunto de informações estratégicas nacionais no âmbito da propriedade intelectual, inovação e tecnologia. A base administra um vasto acervo de informações sobre o desenvolvimento de tecnologias para as quais se requer patente. Seus serviços permitem o acesso a diversas fontes de informação no exterior, ampliando a capacidade de pesquisa, com economia de recursos. A base americana de patentes USPTO disponibiliza as patentes americanas e estrangeiras concedidas desde 1976. Pode-se identificar o documento pelo sistema “booleano” ou pelo fornecimento do número do documento. O usuário pode escolher a observação apenas da folha de rosto de tal documento, ou então sua visualização completa. Observando os resultados de cada busca, é possível ter informação sobre os inventores e titulares de tais patentes, assim como observar os seus relatórios descritivos, os exemplos, as reivindicações, etc.

Nesse contexto, as bases de patentes USPTO e INPI foram selecionadas pelas suas grandes abrangências, praticidade no acesso de uma grande quantidade de documentos, altas relevância das patentes e análises facilitadas pela própria estrutura do site.

4.1.1 Artigos científicos

Inicialmente, buscou-se pelas palavras chave "*Green diesel*", "*Renewable diesel*", "*Production*", "*Aviation Biofuels", "Market", "Economy", "Hydrotreating", "Hydroprocessing*", nos campos título do artigo, resumo e palavras chave, de forma a obter o maior número possível de documentos entre 2000 e 2015/7. Os Críterios de seleção dos documentos foram a sua relevância, atualidade e não repetição. Os resultados obtidos foram apresentados na Tabela 1, com indicação dos números de documentos encontrados e documentos selecionados.

Tabela 1 – Estratégia de busca de artigos científicos para o diesel verde.

Palavras chave	Total de Documentos	Documentos Selecionados
(TITLE-ABS-KEY (**Aviation Biofuels**) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	122	20
(TITLE-ABS-KEY (**Aviation Biofuels**) AND TITLE-ABS-KEY (**Market**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	13	1
(TITLE-ABS-KEY (**Aviation Biofuels**) AND TITLE-ABS-KEY (**Economy**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	10	2
(TITLE-ABS-KEY (**Aviation Biofuels**) AND TITLE-ABS-KEY (**Production**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR> **1999**	47	2
(TITLE-ABS-KEY (**Renewable Diesel**) AND DOCTYPE (**ar**) AND SUBJAREA "(MULT) OR (Diesel fuel) OR (Renewable Resource))" AND PUBYEAR > **1999**	836	20
(TITLE-ABS-KEY (**Renewable Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Production**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	848	15
(TITLE-ABS-KEY (**Renewable Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Economy**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	119	1
(TITLE-ABS-KEY (**Renewable Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Hydrotreating**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	23	12
(TITLE-ABS-KEY (**Renewable Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Hydroprocessing**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	20	8
(TITLE-ABS-KEY (**Green Diesel**) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	580	16

(TITLE-ABS-KEY (**Green Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Production**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	208	2
(TITLE-ABS-KEY (**Green Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Economy**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	30	2
(TITLE-ABS-KEY (**Green Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (**Hydrotreating**)) AND DOCTYPE (**ar**) AND PUBYEAR > **1999**	18	6
(TITLE-ABS-KEY (Green **Diesel**) AND TITLE-ABS-KEY (Hydroprocessing)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 1999	7	2

Após a análise desses documentos, 109 artigos científicos foram selecionados e considerados relevantes para o estudo prospectivo.

4.1.2 Patentes Concedidas e Solicitadas

Inicialmente, optou-se por utilizar - no site do escritório americano de patentes (USPTO) e da base de dados brasileira (INPI) - a mesma estratégia de busca por palavras chave utilizada na busca de artigos científicos, mencionadas anteriormente. Os Críterios de seleção dos documentos foram a sua relevância, atualidade e não repetição. A estratégia da busca e o total de patentes resultantes são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Estratégia de busca de Patentes para diesel verde.

Palavra chave	Total de Patentes	Patentes Selecionadas
“Renewable diesel” AND “Production”	Patentes concedidas 124 (USPTO) Patentes solicitadas 273 (USPTO)	Patentes concedidas 30 (USPTO) Patentes solicitadas 30 (USPTO)
“Renewable diesel” OR “Green diesel”	6 patentes no INPI	4 patentes no INPI
“Green diesel” AND “Production”	Patentes concedidas 69 (USPTO)	Patentes concedidas 9 (USPTO)

	Patentes solicitadas 147 (USPTO)	Patentes solicitadas 4 (USPTO)
"Green diesel" AND "Biomass"	Patentes concedidas 58 (USPTO) Patentes solicitadas 126 (USPTO)	Patentes concedidas 1 (USPTO) Patentes solicitadas 2 (USPTO)
"Aviation Biofuel" AND "Economy"	Patentes concedidas 1 (USPTO)	Patentes concedidas 1 (USPTO)
"Green diesel" AND "Economy"	Patentes concedidas 45 (USPTO) Patentes solicitadas 126 (USPTO)	Patentes concedidas 2 (USPTO) Patentes solicitadas 1 (USPTO)

A busca foi direcionada com as principais empresas envolvidas no mercado do diesel renovável, tais como: Neste Oyj, Solazyme, Eni S.P.A, e UOP LLC. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Estratégia de busca direcionada às principais empresas envolvidas com o diesel verde.

Palavra chave	Total de Patentes	Patentes Selecionadas
"Green diesel" AND "Neste Oyj"	Patentes concedidas 9 (USPTO) Patentes solicitadas 1 (USPTO)	Patentes concedidas 2 (USPTO) Patentes solicitadas 1 (USPTO)
"Green diesel" AND "Eni S.P.A"	Patentes concedidas 3 (USPTO) Patentes solicitadas 5 (USPTO)	Patentes concedidas 1 (USPTO) Patentes solicitadas 3 (USPTO)
"Green diesel" AND "UOP LLC"	Patentes concedidas 18 (USPTO) Patentes solicitadas 27 (USPTO)	Patentes concedidas 1 (USPTO) Patentes solicitadas 8 (USPTO)
"Green diesel" AND "Solazyme"	Patentes concedidas 12 (USPTO) Patentes solicitadas 22 (USPTO)	Patentes concedidas 3 (USPTO)

Mediante o uso de todos os resultados das buscas, foi realizada a seleção das patentes de interesse através da análise de seus resumos e das suas reivindicações (*claim*) na qual, aqueles que eram foco da busca, foram analisados integralmente. Os documentos considerados como relevantes para o estudo prospectivo e analisados com mais profundidade totalizaram: 53 patentes concedidas e 55 patentes solicitadas no período de 2009 a 2015/7.

4.2 Resultados e Discussões

Após a leitura do conteúdo dos documentos selecionados descritos na metodologia de prospecção tecnológica, as informações extraídas foram analisadas em três níveis diferentes que são a seguir especificados: Macro, Meso e Micro.

Nível Macro: os documentos são analisados de acordo com a distribuição histórica de publicações, a distribuição por países, por universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia, parcerias (internacionais e com empresas).

Nível Meso: os documentos são categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do diesel verde. A seguir, estas taxonomias identificadas são descritas.

- ➔ Processo de Produção: quando são identificadas nos documentos as etapas e tecnologias do Processo de Produção do diesel verde.
- ➔ Matérias-primas: quando são identificadas nos documentos as principais matérias-primas renováveis.
- ➔ Equipamento: quando é identificado o Equipamento na produção do diesel verde.
- ➔ Catalisador: quando são identificados nos documentos os Catalisadores usados no Processo de Produção de diesel verde.
- ➔ Análise de Critérios: quando são identificados os critérios de interesse dos pesquisadores, como caracterização do produto, avaliação de rendimentos e os custos econômicos envolvidos.
- ➔ Micro-organismos: são identificados os micro-organismos participantes no Processo de Produção do diesel verde.

Nível Micro: nesta fase do trabalho são identificados particularidades e detalhamentos de cada taxonomia da análise Meso. Cabe ressaltar que o mesmo documento pode estar incluído em mais de uma taxonomia.

4.2.1 Artigos científicos

4.2.1.1 Análise Macro

A análise Macro está relacionada com a série histórica de publicações, os países que apresentam o maior número de artigos científicos no período estudado e os mais importantes jornais, universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento do diesel renovável. A primeira análise é a evolução da produção científica em número de artigos científicos por ano, conforme mostrado na Figura 1, onde pode-se observar que nos anos 2013 e 2014 houve uma tendência de crescimento significativo no interesse em torno ao diesel renovável, provavelmente devido a várias políticas mundiais que determinaram o pago de emissões por parte das companhas aéreas desde 2012.

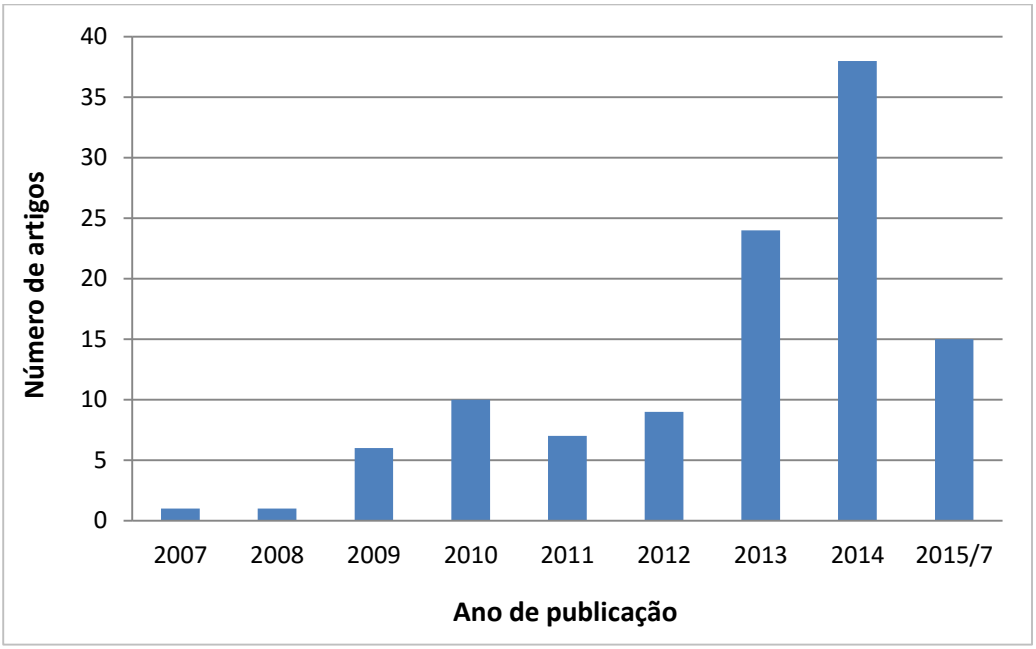


Figura 1. Análise temporal - Distribuição de artigos científicos por ano.

Esta análise temporal mostra um período que coincide com o desenvolvimento de matérias-primas renováveis como soluções alternativas às matérias-primas de origem fóssil.

Outra análise refere-se à origem das publicações, onde se identificam os países com maior interesse na evolução do diesel verde ou diesel renovável. A Figura 2, mostra uma análise da localização, em que pode ser percebida a relevante participação e a liderança dos EUA na publicação de artigos científicos a partir da base de estudo, seguido por China, Brasil e Grécia. Este resultado indica que já existe um significativo conhecimento sobre a produção de diesel

verde. Na denominação “Outros” abrangem países com menor ocorrência como: Alemanha, Dinamarca, Holanda, Itália, México, entre outros.

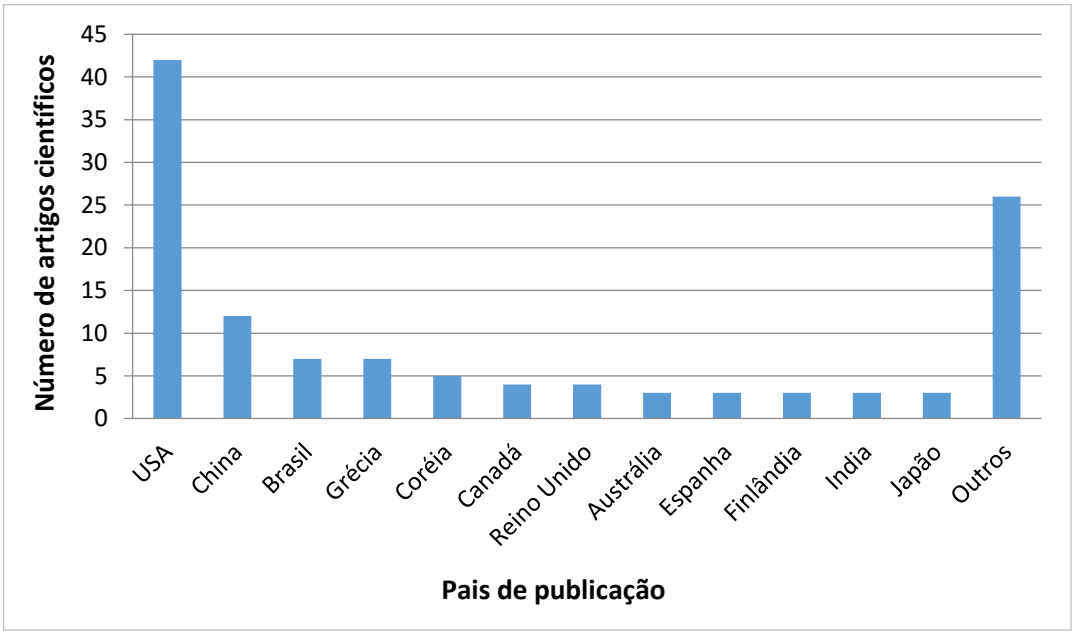


Figura 2. Análise de localização - Número de artigos científicos por país.

Os principais jornais e revistas à frente das publicações de artigos científicos sobre o diesel verde são mostrados na Figura 3.

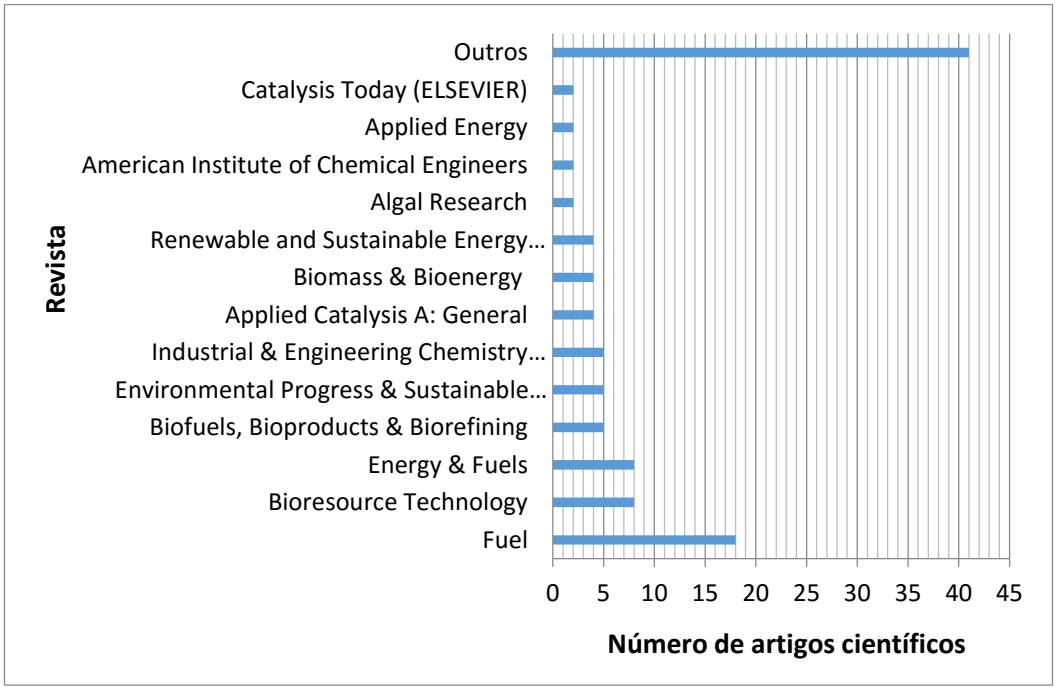


Figura 3. Análise dos Periódicos - Artigos científicos por jornal.

Analisando esses dados, percebe-se que a fonte onde foi publicado o maior número de artigos científicos é o jornal *Fuel*, um periódico voltado para a investigação sobre fontes de energia. O escopo é amplo e inclui muitos temas de interesse crescente, como os aspectos ambientais e a poluição. Além disso, existem outros jornais e revistas voltados para o desenvolvimento e a produção do diesel verde como *Bioresource Tecnology*, onde o objetivo dessa revista é avançar e disseminar o conhecimento em todas as áreas relacionadas à biomassa, tratamento de resíduos biológicos, bioenergia, biotransformações e análise de sistemas. Também, aparece entre as fontes de maior publicação de artigos científicos voltados para o diesel verde, o jornal *Energy and Fuels*, a qual é uma revista interdisciplinar e de prestígio, relata as novas fontes de energia não nucleares na química, incluindo o petróleo, o carvão, o óleo de xisto, areias betuminosas, biomassa, combustíveis sintéticos, geoquímica orgânica, catálise e, combustão aplicada. Também foram observadas publicações em periódicos relacionados ao uso da biomassa como Matéria-prima, a exemplo da *Algal Research and Biomass & Bioenergy*.

Quando considerado o tipo de autor (universidade, instituto de pesquisa, empresas), nota-se que a maioria das publicações foi realizada por centros de pesquisas e universidades, conforme apresentado na Figura 4.

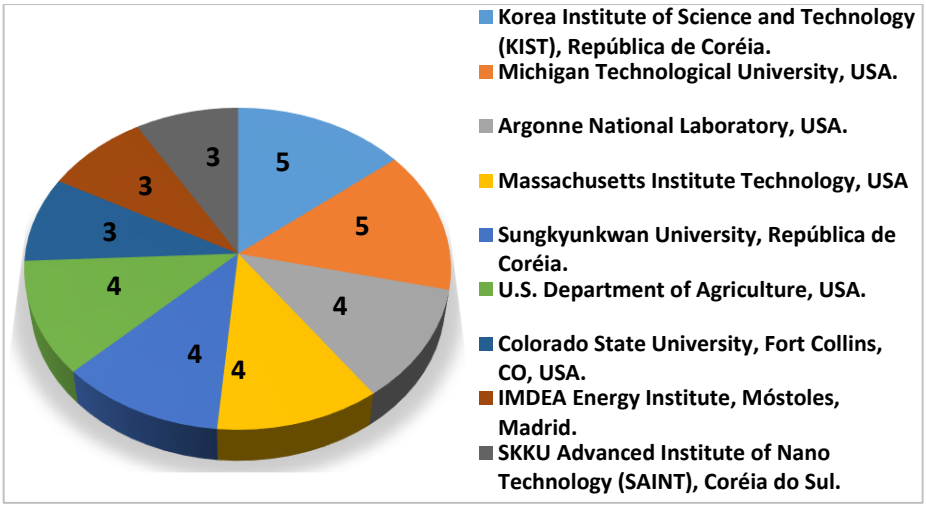


Figura 4. Análise Universidades e Centro de Pesquisa – Distribuição dos artigos científicos por Universidade e/ou Centro de pesquisa.

Nessa análise, destaca-se o *Korea Institute of Science and Technology (KIST)*, instituto de pesquisa multidisciplinar localizado em Seul, Coréia do Sul. Fundada em 1966, foi o primeiro instituto de investigação científica multidisciplinar na Coréia e tem contribuído significativamente para o desenvolvimento econômico do país, particularmente durante os anos de crescimento acelerado nos anos 1970 e 1980. Possui uma equipe de mais de 1.800 cientistas

de pesquisa, cientistas convidados, bolsistas e estagiários, e ainda cientistas estrangeiros, envolvidos em pesquisa básica em vários campos da ciência e da tecnologia de investigação.

Da mesma forma, destaca-se a *Michigan Technological University*, a qual é uma universidade de pesquisa pública localizada em Houghton, Michigan (Estados Unidos). A ciência, tecnologia, silvicultura e negócios foram adicionados para as diversas disciplinas de engenharia e oferece, atualmente, mais de 130 programas de graduação através de suas cinco faculdades e escolas. Também, encontram-se outras universidades e centros de pesquisa relevantes como principais autores dos artigos científicos, quais sejam*: Argonne National Laboratory, Massachusetts Institute Technology, Sungkyunkwan University e U.S. Department of Agriculture.* Cabe ressaltar que, *Argonne* é um centro multidisciplinar de ciência e engenharia de pesquisa dos Estados Unidos, composta por pesquisadores mundialmente reconhecidos, que desenvolvem suas atividades ao lado de especialistas das áreas indústrial, acadêmica de outros laboratórios do governo, visando enfrentar desafios nacionais voltados para as questões referentes à energia limpa, ao ambiente, tecnologia e segurança nacional.

Massachusetts Institute Technology é um centro universitário de educação e pesquisa privado localizado em Cambridge, Massachusetts (Estados Unidos). O MIT é um dos líderes mundiais em ciência, engenharia e tecnologia, bem como outros campos, como administração, economia, linguística, ciência política e filosofia. Dentre seus preeminentes departamentos e escolas, destacam-se: *Sloan School of Management, Lincoln Laboratory, Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory e Media Lab Whitehead Institute.*

A universidade *Sungkyunkwan* é uma universidade de pesquisa privada com campo em Seul e Suwon. Originalmente, ela foi fundada em 1398 pela dinastia Joseon, no coração do centro de Seul, República de Coréia. Sungkyunkwan foi autorizada como a instituição de ensino mais importante de Joseon, o código da Administração do Estado pertencente ao consentimento real.

O *U.S. Department of Agriculture* é o departamento executivo federal dos EUA responsável pelo desenvolvimento e execução política do governo federal sobre a agricultura, a silvicultura e alimentos. Destina-se a atender as necessidades dos agricultores e pecuaristas, a promover o comércio e produção agrícola, a estimular o trabalho para garantir a segurança alimentar e a proteger os recursos naturais e às comunidades rurais.

Cabe ressaltar que, existe uma importante participação das empresas na pesquisa do diesel verde em artigos científicos, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Análise Empresas – Distribuição dos artigos científicos por empresa.

Empresa	**Número de artigos científicos**
UOP LLC, a Honeywell Company, USA	5
MOTOR OIL (Hellas), Grécia	2
Targeted Growth, Inc. USA	2
Precision Combustion, Inc., USA	1
Licella Proprietary Limited, New South Wales, Australia	1
CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canadá	1
Haldor Topsøe A/S, Nymøllevej 55, 2800 Lyngby, Dinamarca	1
BIOeCON BV Hogebrinkerweg 15e, Holanda	1
IOR Energy Pty Ltd, Bulimba, QLD, Austrália	1
Ormat Industries Ltd, Israel	1
Global Technology, SK innovation, República de Coréia	1
Mercedes-Benz Do Brasil Ltda	1
Amyris, USA	1
FEV GmbH, Alemanha	1
UPM-KYMMENE, China	1
Arvens Technology Inc, USA	1

A partir desse levantamento, percebe-se que as empresas com maior destaque são a *UOP LLC, a Honeywell Company*, *Motor Oil (Hellas)* e *Targeted Growth, Inc.* Com uma significativa quantidade de artigos científicos, a empresa UOP LLC, anteriormente conhecida como "*Universal Oil Products"*, é uma empresa multinacional dos EUA com desenvolvimento e fornecimento em tecnologia para o refino de petróleo, processamento de gás, petroquímica, sendo assim uma das principais indústrias transformadoras. A empresa possui raízes que remetem ao ano de 1914, quando o revolucionário processo de craqueamento térmico Dubbs criou a base tecnológica para a indústria de refino moderno. Nas décadas seguintes, os engenheiros da UOP geraram milhares de patentes, levando a importantes avanços na

tecnologia de processo, consulta da rentabilidade e dimensionamento de equipamento. Em 2008, a UOP revelou seu processo *Ecofining* que converte os óleos vegetais ou lipídios em substitutos para o combustível diesel e *jet*, com características indistinguíveis ao diesel petroquímico.

A descrição de algumas empresas é apresentada na Tabela 5, analisando esses dados, percebe-se que a maioria de empresas com interesse nas pesquisas do renovável diesel está nos EUA. A maioria das empresas têm relação com o desenvolvimento de produtos, processo e tecnologias em torno a matérias-primas renováveis.

Tabela 5. Descrição das empresas com interesse no diesel renovável.

Empresa	**Área**	**País**
Arvens Technology Inc	Desenvolvimento de Matéria-prima inovadora para biodiesel e combustível de aviação a jato	USA
Targeted Growth	Empresa de biotecnologia agrícola focada no desenvolvimento de produtos com maior rendimento e melhor qualidade para as indústrias de agricultura e energia.	USA
MOTOR OIL (Hellas)	Empresa centrada no refino de petróleo.	Grécia
Mercedes-Benz Do Brasil Ltda	Maior fabricante de veículos comerciais da América do Sul.	Brasil
FEV GmbH (Alemanha)	Desenvolvimento de motores de combustão interna, convencional, elétrica e sistemas de acionamento de veículos alternativos, tecnologia de energia, e um importante fornecedor de teste e instrumentação produtos e serviços avançados de algumas das maiores OEMs do mundo.	Alemanha
UPM-KYMMENE (China)	Conduz a integração das indústrias bio e da floresta para um novo futuro, sustentável e orientada para a inovação.	China
Amyris	Uma empresa de produtos renováveis integrados que proporciona alternativas sustentáveis para uma ampla gama de produtos derivados do petróleo	USA

4.2.1.2 Análise Meso

Na Análise Meso, os artigos científicos foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do diesel verde e organizados em taxonomias, devidamente explicadas no capítulo 4.2, supracitado. A Figura 5 apresenta a Análise Meso de artigos científicos baseado nas cinco taxonomias propostas, quais sejam: Matérias-primas, Processo de Produção, Equipamento, Catalisador, Análise de Critérios e Micro-organismos. As taxonomias mais citadas nos documentos foram Processo de Produção e Matérias-primas. Por fim, encontram-se a Análise de Critérios, Equipamento, Catalisador e Micro-organismos.

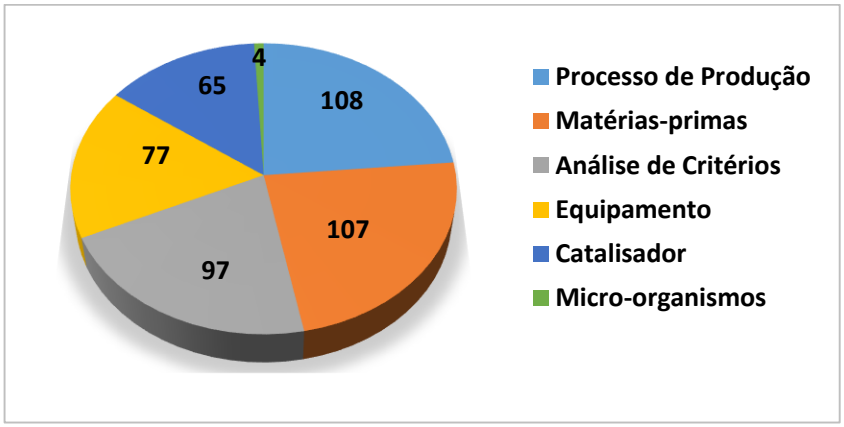


Figura 5. Análise Meso de artigos científicos - Taxonomias.

4.2.1.3 Análise Micro

Neste estudo foi elaborada a etapa analítica dos artigos científicos denominada como Análise Micro. Nesta fase do trabalho, cada parte da Análise Meso é detalhada e são então identificadas particularidades, como os tipos de tecnologias (pré-tratamento, processamento e as principais reações). No detalhamento das tecnologias, a Figura 6 mostra a análise dos tipos de pré-tratamento da Matéria-prima. Este processo tem a função de quebrar a estrutura da superfície da fibra, descaracterizando seu perfil hidrofílico, visando aumentar a adesão com o material do compósito e permitir a extração de componentes importantes, como a liberação de açúcares, os quais podem ser utilizados para outras aplicações. Os tipos de pré-tratamento químico mais citado entre os artigos científicos foram a extração de lipídios e hidrólise, sucessivamente.

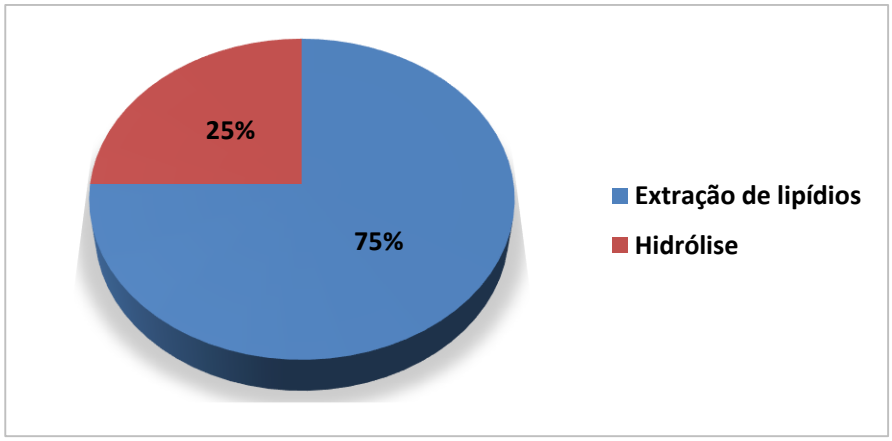


Figura 6. Análise Micro de artigos científicos - Pré-tratamento da Matéria-prima.

O processo de pré-tratamento de matéria-prima mais comum nos artigos científicos foi à extração de lipídios, cujos métodos não foram aprofundados. Em seguida, foi encontrado o processo de hidrólise. Esses resultados estão relacionados com a Matéria-prima usada e, a escolha do método de pré-tratamento depende das características de cada processo desenvolvido. As diferentes tecnologias de processamento empregadas na produção do diesel verde são apresentadas na Figura 7.

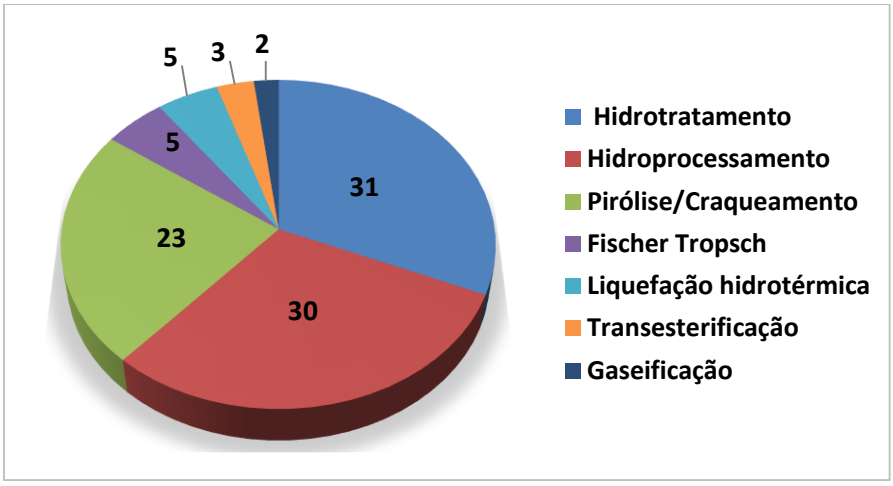


Figura 7. Análise Micro de artigos científicos - Processos de Produção.

Os processos mais explorados na obtenção de diesel verde são o hidrotratamento e hidroprocessamento. Outro processo que está sendo estudado para obter um biocombustível com características melhoradas é a pirólise ou craqueamento. Adicionalmente, apresentando um número menor de pesquisas, encontra-se o processo Fischer-Tropsch, que demanda um alto custo econômico, induzindo algumas pesquisas a serem direcionadas para o processo de liquefação hidrotérmica, em sua maior parte na escala de bancada. Encontram-se no último nível o processo tradicional de transesterificação, o qual não produz um biocombustível

indicado para o setor da aviação e, o processo de gaseificação que, ainda necessita de reforços associados a outros processos.

Os artigos científicos mostraram as diferentes reações presentes no processo de obtenção do diesel verde, conforme pode ser visto na Figura 8:

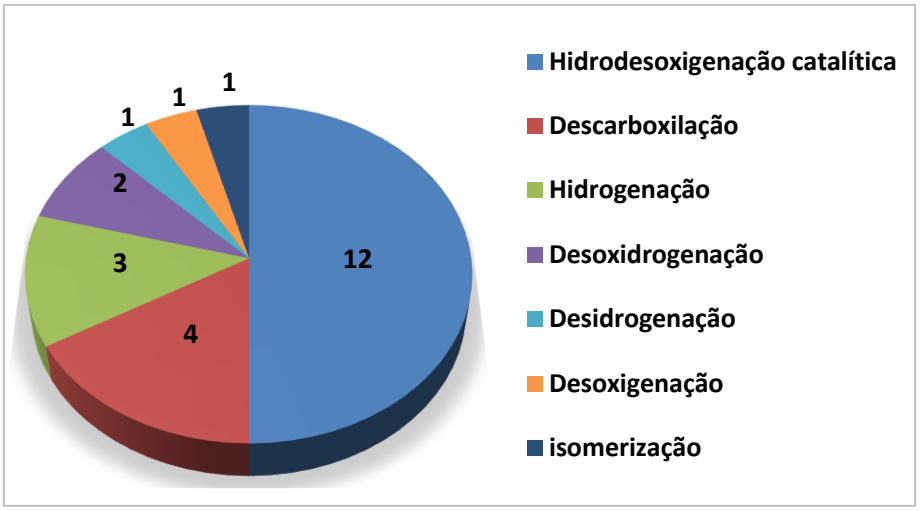


Figura 8. Análise Micro de artigos científicos - Principais reações dos Processos de Produção.

As reações mais mencionadas são a hidrodesoxigenação catalítica (HDO), descarboxilação, hidrogenação e desoxidrogenação, seguidos de desidrogenação, desoxigenação, isomerização.

Uma das principais vantagens da rota HDO em relação a outros métodos para a produção de diesel derivado de biomassa, como a síntese de FAME, é que o produto renovável de combustível correspondente é de alta qualidade e livre de oxigênio. Trata-se de um combustível de hidrocarboneto completamente fungível com base nos estoques da mistura com o combustível convencional da refinaria de petróleo e seus componentes (CHOUDHARY, 2011).

A descarboxilação é uma reação química na qual um grupamento carboxila é eliminado de um composto na forma de dióxido de carbono (CO_2) e, as pesquisas nos artigos científicos destacam esta reação devido à problemática da mitigação dos gases de efeito estufa, visando proteção do meio ambiente e diminuição o aquecimento global. Adicionalmente, o processo unitário hidrogenação refere-se à adição de hidrogênio molecular (H_2), na presença de um catalisador, em um composto orgânico. Se as moléculas são clivadas por hidrogênio, a reação é chamada de hidrogenólise. Reações como isomerização, ciclização e outras, que ocorrem na presença de hidrogênio molecular e catalisadores, também são consideradas processos de hidrogenação (VILLELA, 2000).

A indústria petrolífera utiliza processos de hidrogenação catalítica na melhoria da qualidade dos produtos das diversas frações obtidas no refino do petróleo. Também utilizam processo de transferência de hidrogênio, frequentemente confundido com hidrogenação catalítica, que envolve a saturação de compostos etílicos por troca de moléculas de hidrogênio entre duas substâncias, com ou sem a participação de H_2. A desidrogenação é um importante processo industrial, entretanto foi possível observar que o número de aplicações ainda é inferior em comparação à hidrogenação. Esses são processos endotérmicos, que necessitam de alta temperatura para a obtenção de conversões adequadas, e são restritos aos processos onde regentes e produtos possuem estabilidade térmica (VILLELA, 2000).

Na análise dos artigos científicos uma grande quantidade de publicações está direcionada para o uso da Matéria-prima renovável, conforme pode ser visto é mostrado na Figura 9.

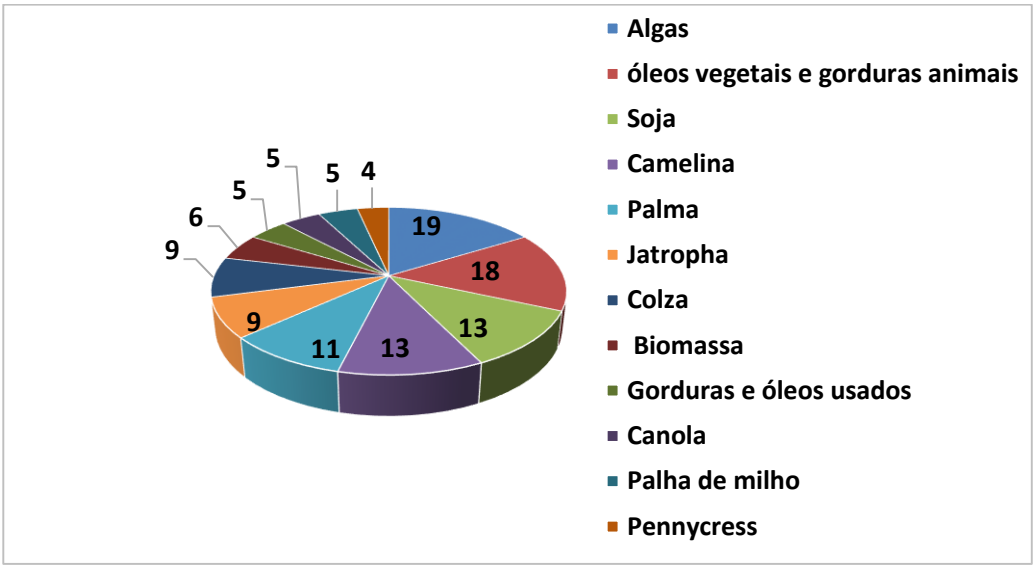


Figura 9. Análise Micro de artigos científicos - Matérias-primas.

As matérias-primas com maior destaque na análise de artigos científicos foram, de acordo com a figura apresentada, algas, soja, camelina, palma, jatropha e colza. Alguns artigos científicos apresentam a matéria-prima, de uma forma geral, com a denominação de óleos vegetais e gorduras animais. Em sequência, encontram-se as matérias-primas como óleos usados, canola, biomassa, palha de milho, *pennycress* e outros.

Na Figura 10 são mostrados os resultados relacionados aos Catalisadores presentes na produção do diesel verde.

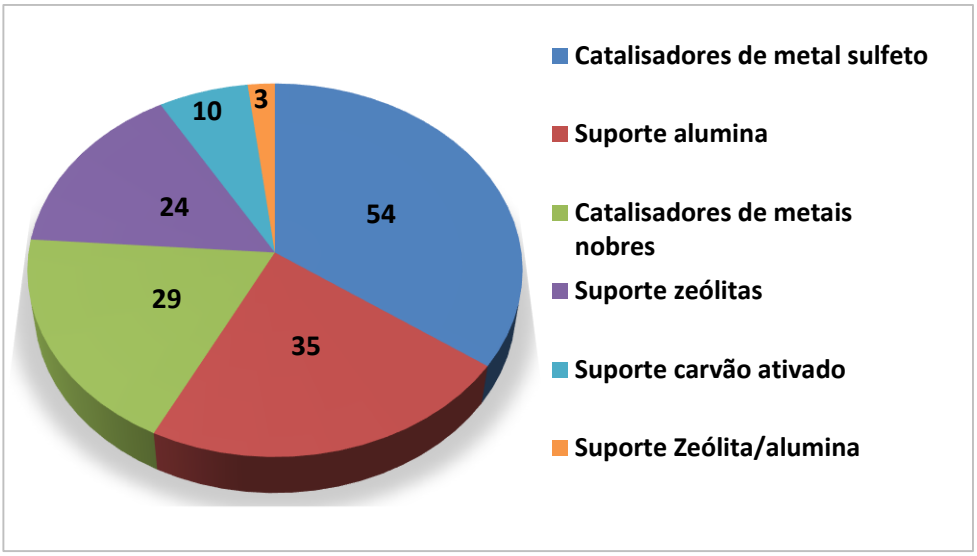


Figura 10. Análise Micro de artigos científicos – Catalisador.

Os Catalisadores mais destacados foram os de metal sulfureto, com suporte de alumina. Em seguida, as pesquisas referem-se aos Catalisadores de metal nobre, com suportes a base de zeólitas. Os catalisadores para a produção de diesel renovável derivado da hidrogenação (HDRD) dividem-se em duas grandes categorias, quais sejam: catalisador de metal sulfureto suportado e catalisador de metal nobre suportado. Como citado em Kubickova (2010), observa-se que os catalisadores de metal sulfureto suportados, por exemplo, $NiMo/Al_2O_3$, $CoMo/Al_2O_3$, Ni/Al_2O_3 ou Co/Al_2O_3; são comumente utilizados em processos de hidrotratamento e hidrocraqueamento de petróleo, mas necessitam de uma fonte de enxofre para manter seu nível de atividade elevada. O enxofre não está presente no óleo vegetal, fazendo-se necessário a adição de uma fonte externa de enxofre para a produção HDRD com catalisadores de metal sulfureto (MILLER, 2014).

Os catalisadores de metal nobre suportados, também são utilizados para hidrotratamento, hidrocraqueamento, isomerização e, vem sendo reportado como uma grande promessa para a produção HDRD, uma vez que possuem elevada característica de seletividade para alcanos, além de consumir menor quantidade de hidrogênio do que os catalisadores de metal sulfureto. Cabe ressaltar que, os catalisadores de metal nobre suportados incluem Pd /C, Pt /C, Pd $/Al_2O_3$, e Pt $/Al_2O_3$, que são muitas vezes utilizados em uma ampla faixa de temperatura, entre 300 e 400 °C sob pressão de 1,5 a 4,2 Mpa. Com relação ao carvão ativado, geralmente o mesmo é usado em relação Al_2O_3 como suporte para catalisadores de metal nobre, porque Pt e Pd sobre Al_2O_3 tendem a formar uma cetona simétrica de caráter indesejado. Adicionalmente, Pd também é o mais usual em relação ao Pt, por possuir característica mais ativa. Se a isomerização for incluída no Processo de Produção HDRD, geralmente é feito uso

de um catalisador separado, tal como Pt/HZSM-22/Al_2O_3, que tem sido utilizado para isomerizar óleo de girassol tratado com hidrogênio. Devido às vantagens acima descritas, Pd/C (paládio sobre suporte de carbono) é um catalisador altamente potencial para a produção de HDRD (MILLER, 2014).

A seguir é apresentado o detalhamento da análise do Equipamento identificado, conforme mostrado na Figura 11.

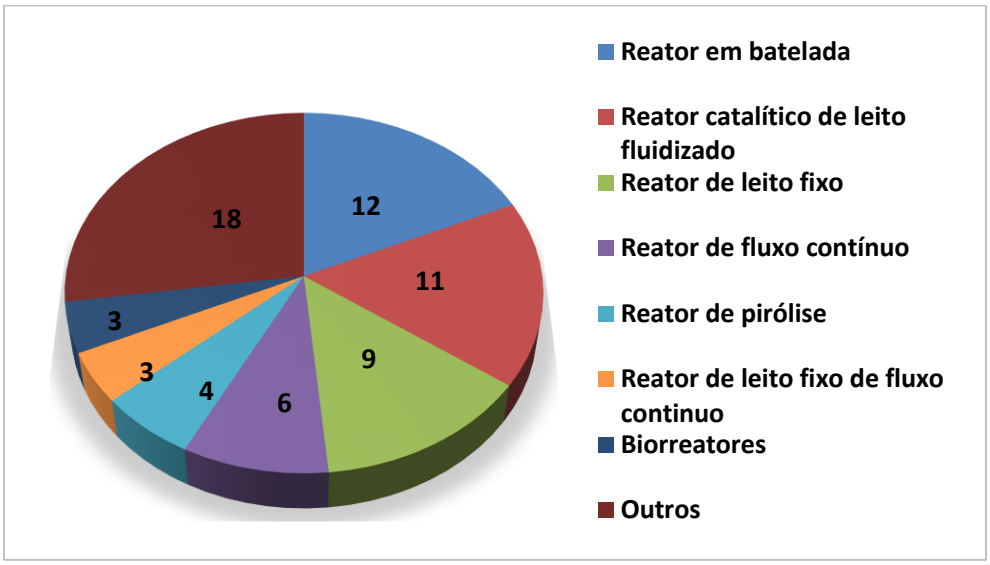


Figura 11. Análise Micro de artigos científicos - Equipamento

Na análise do Equipamento encontra-se em primeira posição o uso de reatores operados em batelada, seguido das configurações de reatores catalítico, de leito fluidizado e de leito fixo.

O reator em batelada possui em sua configuração um sistema de agitação e uma estrutura integrada de aquecimento/resfriamento, sendo a versatilidade uma de suas principais características. Um único vaso reacional pode permitir uma sequência de diferentes operações, sem a necessidade de interromper-se a continuidade do processo, garantindo a manutenção do conteúdo no mesmo ambiente. Isto é particularmente útil para processos envolvendo a execução de atividades com compostos tóxicos ou altamente potentes farmacologicamente.

O reator catalítico é normalmente classificado em dois tipos: de leito fluidizado ou de leito fixo, onde a escolha depende da reação de interesse e do perfil cinético observado. Os reatores de leito fluidizado têm as seguintes propriedades:

- O fluxo é, fundamentalmente, complexo e pouco conhecido, dificultando estimar de maneira integral todos os mecanismos envolvidos nos fenômenos de transferência de massa. Para mensurar matematicamente o comportamento dessa transferência de massa,

as barreiras físicas existentes tendem a exigir uma maior quantidade de catalisador para alcançar os objetivos propostos no processo.

- O controle de temperatura, via de regra, é de fácil execução e monitoramento em comparação com o reator de leito fixo.
- A reativação do catalisador, caso seja necessária, é mais fácil e mais eficiente de se executar, devido à fluidização existente, uma vez que o bombeamento e o transporte desse catalisador não apresentam grandes dificuldades.
- Este tipo de fluxo é adequado para o tamanho de partícula pequena, sendo ideal para reações rápidas, onde é necessária uma grande área de contato (SCHMAL, 2010).

Os processos contínuos são melhores processados em reatores com colunas empacotadas (*Trickle-bed*) ou leito fixo (*Fixed-bed*). O recheio presente no leito fixo consiste do catalisador empregado no processo, com o substrato e hidrogênio sendo transportados no sentido descendente, na forma concorrente. A remoção e dissipação do calor gerado representa um dos grandes problemas deste modo de operação e, normalmente, utilizam-se colunas de pequenos diâmetros. Também são empregados reatores com variações em sua configuração, podendo estar dispostos em série, visando minimizar os problemas causados pela dificuldade na remoção de calor ou trocadores de calor entre os leitos.

O modelo de reator de fluxo em pistão ou reator de fluxo pistonado (RFP) é usado para descrever reações químicas em sistemas de fluxo contínuo, sendo usado para predizer o comportamento de reatores químicos, de modo que as variáveis principais do reator, tais como as dimensões do reator possam ser estimadas (SCHMAL, 2010).

Da mesma forma foi elaborada uma Análise de Critérios, conforme a Figura 12, apresentando a distribuição desta taxonomia.

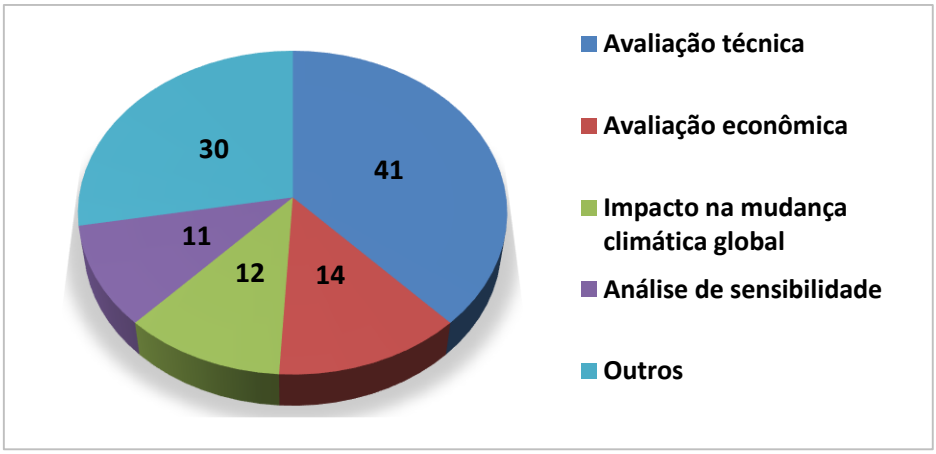


Figura 12. Análise Micro de artigos científicos - Análise de Critérios.

A maioria das pesquisas está voltada para a avaliação técnica do biocombustível. Alguns exemplos das técnicas utilizadas são: cromatografia gasosa (GC), detecção por espectrometria (GC-MS), espectroscopia de ressonância magnética nuclear (NMR), detector de chama de ionização (FID), análise termogravimétrica TGA-DTG e difração de raios-X, os quais permitem a avaliação pertinente das diferentes características do biocombustível. Durante os estudos referentes ao Impacto na mudança climática global, foi apresentada a análise do ciclo de vida estimado das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para HRJ e diesel verde (GD) produzido pelo processo UOP. Na análise de artigos científicos encontra-se a participação de alguns Micro-organismos como componentes importantes na produção de diesel verde, conforme mostra a Tabela 6, onde as características de cada tipo são apresentadas:

Tabela 6. Micro-organismos presentes na análise de artigos científicos

Micro-organismos	Tipo	Características
***Clostridium beijerinckii* P260**	**Bactéria gram positiva**	Possui entre outras características, capacidade de crescimento em meios de composição simples, de baixo custo, estabilidade, adaptação a processos contínuos e, produção evidenciada de solventes na fase log (exponencial). Estudos recentes mostram ser um candidato potencial para a produção de hidrogênio.
Metschkownia pulcherrima	**Levedura**	O substrato de crescimento preferencial possui glicose e outros açúcares como fonte de carbono. Como produtos finais, encontram-se álcool, lipase e um pigmento vermelho chamado pulcherrimin, solúvel em água, com propriedades anti-microbianas.
***Scenedesmus sp. e J Scenedesmus spatro* (JSC)**	**Algas**	Scenedesmus é uma microalga capaz de produzir diferentes tipos de biocombustíveis como o biohidrogênio, biodiesel, bioetanol e combustíveis *drop-in*.
Sacharomyces cerevisiae	**Levedura**	Dentre suas diversas habilidades, já amplamente conhecidas, possui a capacidade de fermentar hidratos de carbono.

Em continuação apresenta-se o foco dos documentos elaborados por alguns Centros de pesquisa ou Universidade em parceria com Empresas (Tabela 7).

Tabela 7. Foco dos documentos de Universidades/Centros de pesquisa em parceria com empresas.

Centro de Pesquisa	Empresa	Foco do documento (Taxonomia)
National Technical University of Athens, Grécia.	MOTOR OIL (Hellas), Corinth Refineries SA, 201 00 Corinth, Grécia	Matérias-primas (óleo de algodão)
Rochester Institute of Technology, USA.	Precision Combustion, Inc., USA.	Avaliação de Critérios (processo oxidativo de reformação do vapor)
Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Austrália. Rajshahi University of Engineering and Technology (RUET), Bangladesh. University of the Sunshine Coast, Queensland, Australia.	Licella Proprietary Limited, New South Wales, Australia	Matérias-primas (pó de madeira)
University of Saskatchewan, Saskatchewan, Canadá.	CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canadá.	Catalisador (nitretos de metal suportado em alumina)
Industrial University of Santander, Santander, Colômbia.	Colombian Petroleum Institute - ICP, ECOPETROL S.A., Colombia.	Catalisador (NiMo/γ-Al2O3)
University of Massachusetts-Amherst, Amherst, USA. Politenica University of Valencia, Espanha.	BIOeCON BV Hogebrinkerweg 15e, Holanda.	Matérias-primas (Óleo vegetal - óleo pesado do vácuo)
Michigan Technological University, USA.	UOP LLC, A Honeywell Company	Avaliação de Critérios
Michigan Technological University, USA.	UOP LLC, a Honeywell Company, USA. Targeted Growth, Inc. USA.	Matérias-primas (Camelina)

Michigan Technological University, USA.	UOP LLC, A Honeywell Company	Matérias-primas (Pennycress)
Michigan Technological University, USA.	Targeted Growth, Inc. USA.	Matérias-primas (Camelina)
Paulista State University Júlio of Mesquita Filho, Brasil	Mercedes-Benz Do Brasil Ltda	Avaliação de Critérios (energia de ativação e emissões de NOx)
RWTH Aachen University (Alemanha)	UPM-KYMMENE (China), FEV GmbH (Alemanha)	Avaliação de Critérios

As pesquisas de universidades/centros de pesquisa em parceria com empresas estão direcionadas em maior parte à Avaliação de Critérios tanto do funcionamento do bicombustível como da sua obtenção, consequentemente existem uma análise relevante da implementação de novas Matérias-primas e rendimentos do Catalisador. Teoricamente, os artigos científicos apresentam os *players* em um cenário de longo-prazo, em um horizonte maior que 15 anos, demostrando um grau inicial do desenvolvimento da tecnologia, uma vez que se encontra ainda em fase de estudo acadêmico (BORSCHIVER, 2016).

4.2.2 Patentes concedidas

4.2.2.1 Análise Macro

A análise Macro faz um levantamento da quantidade de patentes concedidas, dos países que apresentam maior número desse tipo de patentes no período estudado, das fontes mais importantes, desde empresas até universidades, ligadas ao conhecimento científico e aos processos de produção do diesel renovável. A priori, a primeira análise trata da evolução do conhecimento tecnológico em número de patentes concedidas analisadas por ano, conforme pode ser observado na Figura 13. Pode-se verificar que, no interstício de 2012 a 2015, houve um interesse significativo por pesquisas voltadas para produção do diesel verde, enfatizando a rota baseada na utilização de matérias-primas renováveis para a obtenção de produtos ambientalmente corretos.

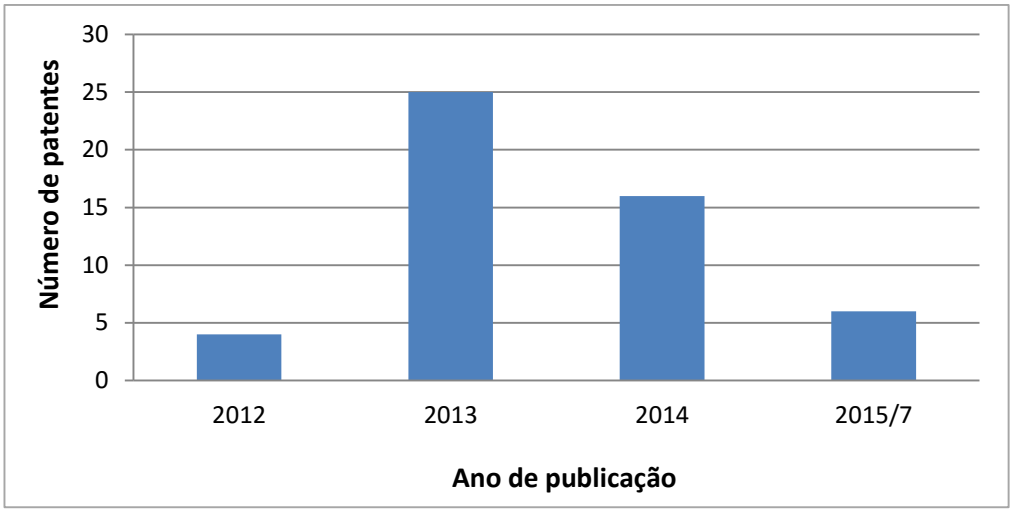


Figura 13. Análise temporal - Distribuição de patentes concedidas analisadas por ano.

Outra análise refere-se à origem das publicações, identificando-se os países que estão direcionando maiores esforços científicos para a utilização do diesel verde. Concernente com o exposto, a Figura 14 mostra uma análise da localização. Corroborando com a hierarquia já observada anteriormente, em análise de artigos científicos, os Estados Unidos mantém o mesmo perfil na presente avaliação, sendo identificado como o país detentor do maior número de patentes concedidas. Foi possível verificar que, a indústria da aviação nos EUA vem avançando rapidamente acerca da temática voltada para biocombustíveis, seguido pela Finlândia, com destaque para produção de diesel verde com a empresa Neste Oyj.

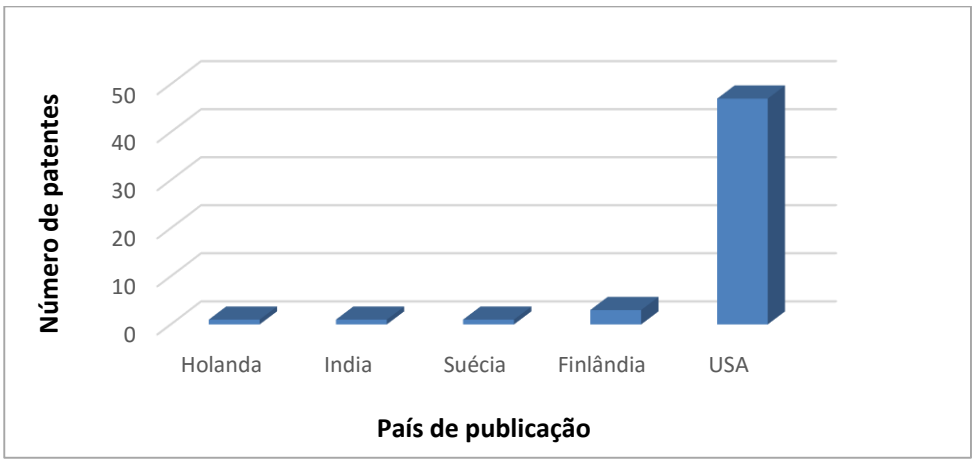


Figura 14. Análise de Localização - Número de patentes concedidas analisadas por país.

A maioria das patentes concedidas é de propriedade intelectual de empresas, sinalizando para o grande interesse industrial acerca dos combustíveis oriundos de fontes renováveis, conforme pode ser visto através da Figura 15.

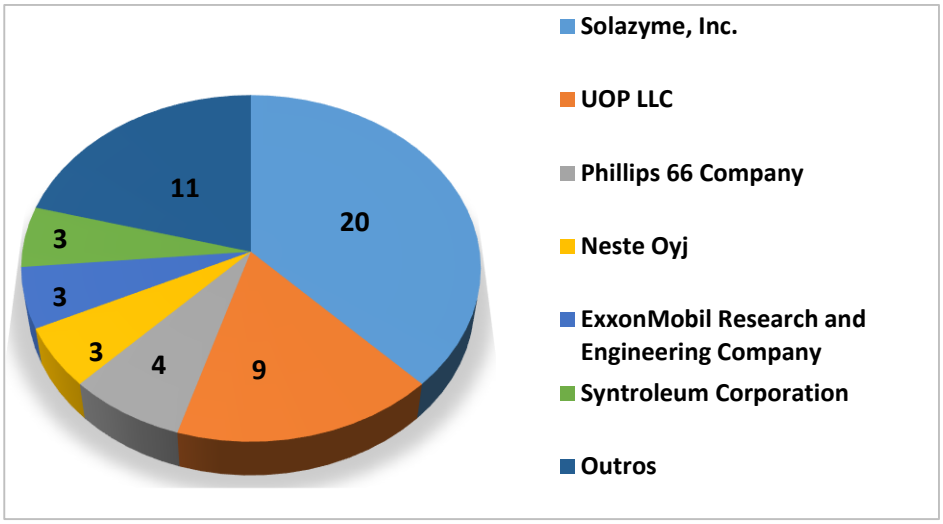


Figura 15. Análise do depositante em patentes concedidas. Empresas depositantes.

A empresa com maior destaque na análise de patentes concedidas é a Solazyme, sendo pioneira no atendimento à demanda mundial de óleos sustentáveis. Por exemplo, no centro das operações da Solazyme na América do Sul, os funcionários do escritório de São Paulo (Brasil) supervisionam as atividades comerciais na América do Sul, ampliando o alcance mundial da Solazyme. Muitos de seus projetos versam sobre o cultivo e a utilização de microalgas como ramo da Biotecnologia emergente e portadora de futuro, contribuindo para soluções para sociedade em diversas áreas.

O Combustível aeronáutico renovável refinado a partir de óleos extraídos de microalgas da Solazyme, o Solajet TM, o primeiro derivado de micro-organismos do mundo a atender as principais especificações do setor para aviação comercial (ASTM D 1655). Compatível com a infraestrutura aeronáutica, o combustível renovável proporciona uma série de benefícios, como maior carga útil; maior resistência ao calor centralizado na região das asas, reduzida emissão de fumaça, tempos de estoque e armazenamento prolongados e um menor custo de manutenção.

Na sequência, encontra-se a empresa UOP LLC, anteriormente conhecida como *Universal Oil Products*, uma empresa multinacional com desenvolvimento e fornecimento de tecnologia para o refino de petróleo, processamento de gás e petroquímica. Possui mais de 90 anos de experiência em tecnologia de refino para fazer combustíveis alternativos viáveis, a partir de uma vasta gama de matérias-primas de composição biológica. A tecnologia de processo da UOP para produzir o *Honeywell Diesel Verde* é pioneira face as outras tecnologias existentes mundialmente. Cabe ressaltar que, a empresa possui acordos com China, Índia e Masdar, nos Emirados Árabes Unidos, para desenvolver projetos de biocombustíveis, baseando-se no seu processo de *Ecofining*, associadamente com a tecnologia do combustível

Honeywell Jet Verde, contribuindo para angariar novas soluções energéticas e desenvolver novas economias com biodervados.

Na denominação "Outros" encontram-se empresas como: *Bharat Petroleum Corporation Limited* (Mumbai), *Endicott Biofuels II LLC*, entre outras.

4.2.2.2 Análise Meso

Na análise Meso, as patentes concedidas são categorizadas de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do diesel renovável. Estes aspectos foram devidamente identificados na etapa inicial do estudo, cujo foco foi identificar as grandes áreas produtoras do diesel renovável. De acordo com a Figura 16 e com as taxonomias supracitadas no tópico 4.2, observa-se que o Processo de Produção e Matéria-prima são as categorias mais relevantes, seguidas por Catalisador, Análise de Critérios e Equipamento. Ainda é possível registrar um número expressivo de documentos, mencionando os Micro-organismos.

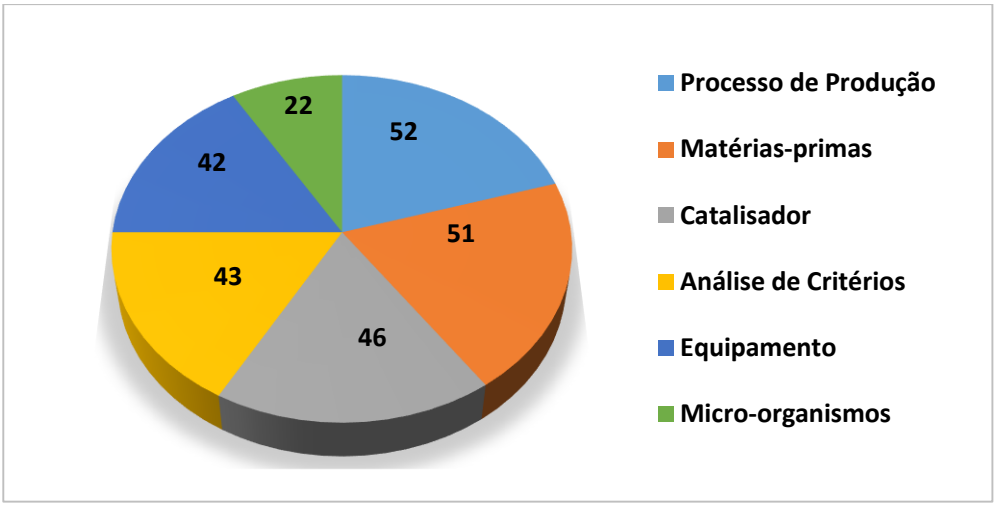


Figura 16. Análise Meso de patentes concedidas – Taxonomias.

4.2.2.3 Análise Micro

Na presente etapa do trabalho, cada taxonomia da análise Meso é detalhada e identificada em função de suas particularidades, como os tipos de Processo de Produção, a Matéria-prima, os Catalisadores, o Equipamento, a Análise de Critérios e os Micro-organismos. Os dados mostram o Processo de Produção com maior frequência, registrando sua divisão em três partes: pré-tratamento, processamento e as principais reações. O detalhamento das

tecnologias iniciou-se com a análise da etapa de pré-tratamento, enquanto a hidrólise se resumiu ao único processo citado nas patentes concedidas com cinco documentos. Consequentemente, foi elaborada a análise do tipo de processamento (Figura 17).

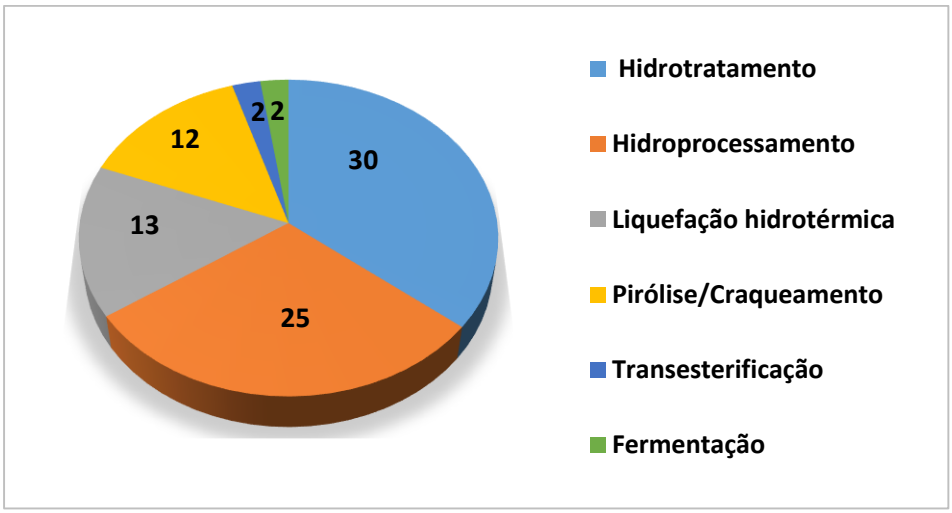


Figura 17. Análise Micro de patentes concedidas - Processos de Produção**.**

Os Processos de Produção de diesel nas refinarias convencionais são os mais destacados nas patentes concedidas como: hidrotratamento e hidroprocessamento. Pode-se observar que existem outras pesquisas voltadas para os processos de liquefação e pirólise. As principais reações mencionadas nos documentos são apresentadas na Figura 18.

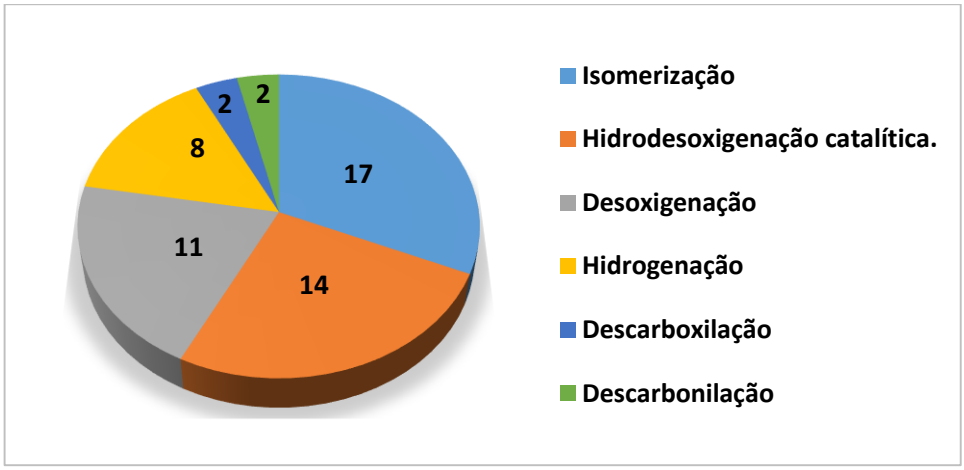


Figura 18. Análise Micro de patentes concedidas - Principais reações dos Processos de Produção.

A reação de isomerização foi a mais explorada dentro das patentes concedidas, seguindo da hidrodesoxigenação e desoxigenação. É importante ressaltar que, as pesquisas estão direcionadas ao melhoramento das propriedades do diesel renovável, uma vez que a reação de

isomerização melhora consideravelmente as propriedades, a frio, do diesel renovável. As outras reações estão relacionadas com a face inicial do processo, onde o hidrogênio é importante para dar continuidade à reação, fazendo-se indispensável alcançar melhorias na avaliação dos custos e no impacto ambiental, especificamente na obtenção do hidrogênio. Outra categoria com maior frequência foi a Matéria-prima, de esta maneira observa-se na Figura 19, a distribuição nas patentes concedidas analisadas.

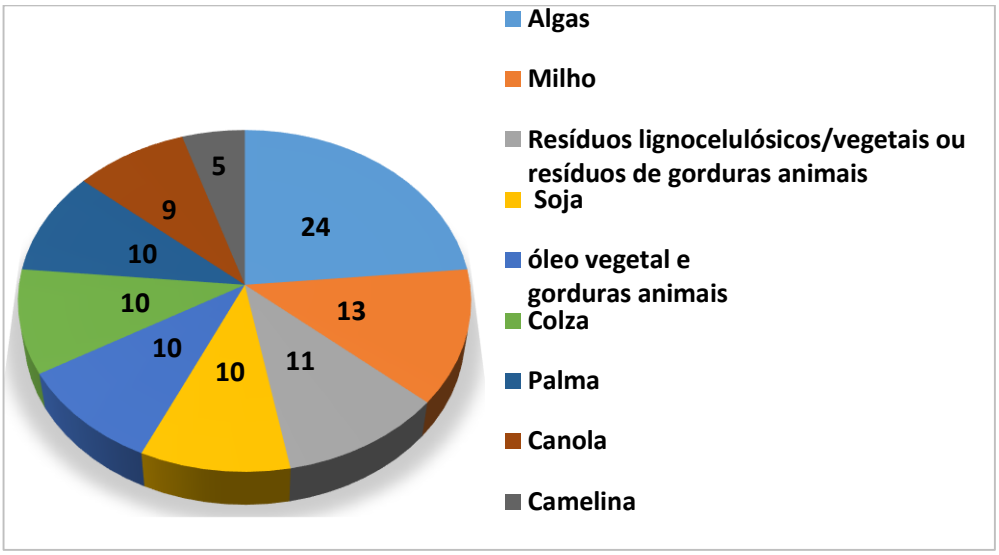


Figura 19. Análise Micro de patentes concedidas - Matérias-primas.

As algas são a Matéria-prima mais destacada nas patentes concedidas, mostrando um importante interesse na projeção das matérias-primas renováveis que não competem com a indústria alimentícia. Algumas pesquisas referem-se aos resíduos de composição lignocelulósica e resíduos de gorduras animais como uma opção viável no processo de produção do diesel verde.

O tipo de Catalisador utilizado nos distintos processos foi analisado e o resultado é apresentado na Figura 20:

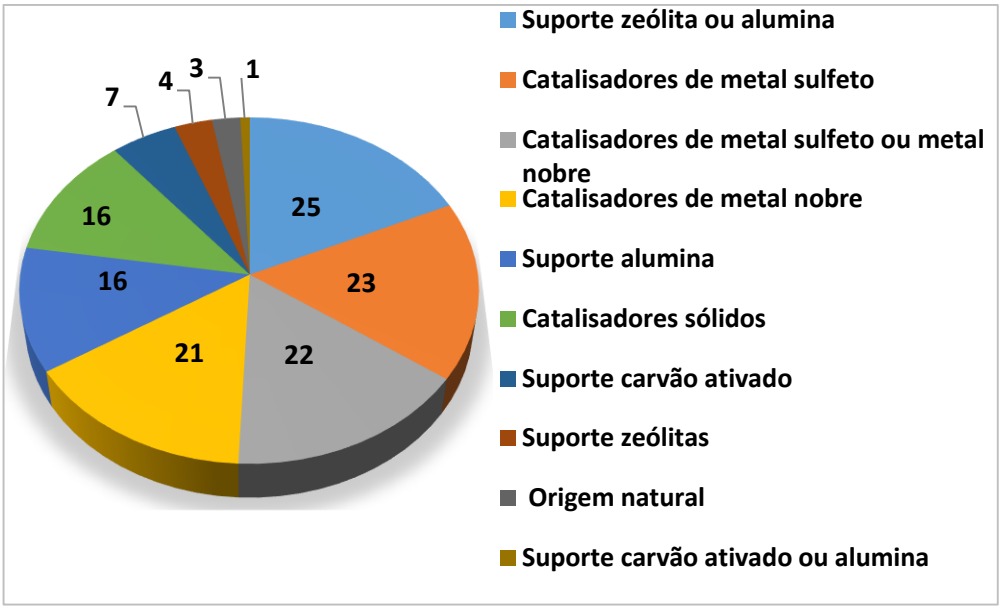


Figura 20. Análise Micro de patentes concedidas - Catalisador.

Os Catalisadores de metal sulfeto foram os mais citados nos documentos, concomitantemente com os suportes de zeólita ou alumina. Os Catalisadores de metais nobres também aparecem em uma quantidade relevante nos documentos, mostrando assim que as pesquisas estão direcionadas na tentativa de encontrar catalisadores pertinentes para o processo e com menor impacto no meio ambiente. Na Análise de Critérios os resultados foram apresentados de acordo com a Figura 21.

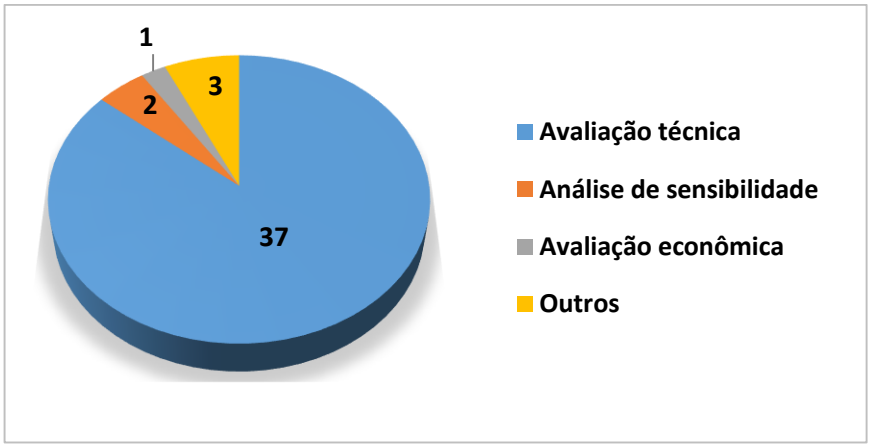


Figura 21. Análise Micro de patentes concedidas - Análise de Critérios.

A análise mais destacada aponta a avaliação técnica do diesel renovável, como por exemplo: cromatografia gasosa, distribuição de pontos de ebulição, análise GC espectrômetro de massa (Py-GC/MS). A maior parte das pesquisas está direcionada na análise de todas as propriedades do produto final, para garantir a qualidade do biocombustível no setor da aviação.

Nota-se uma importante participação dos Micro-organismos no Processo de Produção do diesel verde quando as patentes concedidas são analisadas, conforme pode ser observado na análise desta taxonomia (Figura 22). Adicionalmente, a participação de enzimas também é reportada na análise, contribuindo para as etapas de otimização dos processos.

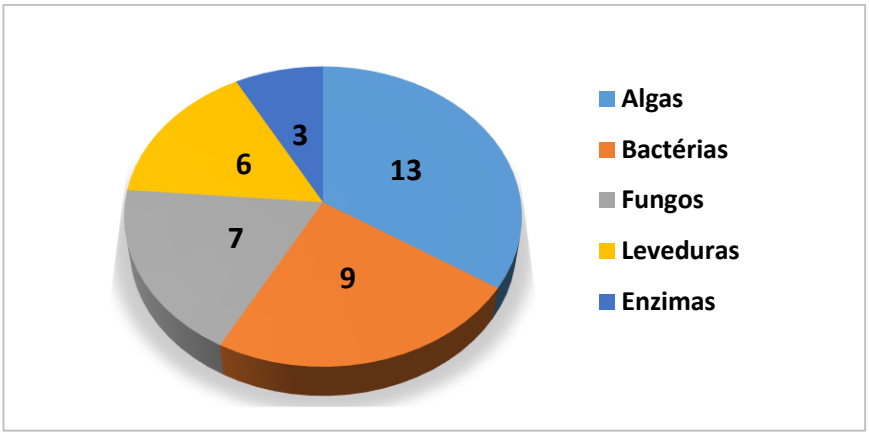


Figura 22. Análise Micro de patentes concedidas - Micro-organismos.

Algumas invenções proporcionam métodos de cultivo de micro-organismos e conteúdos oleaginosos a partir do aproveitamento de material de composição celulósica. São identificados também micro-organismos contendo um ou mais genes exógenos que facilitam a utilização de Matéria-prima de composição celulósica. Na análise do Equipamento usado no processo, obtiveram-se os resultados mostrados na Figura 23.

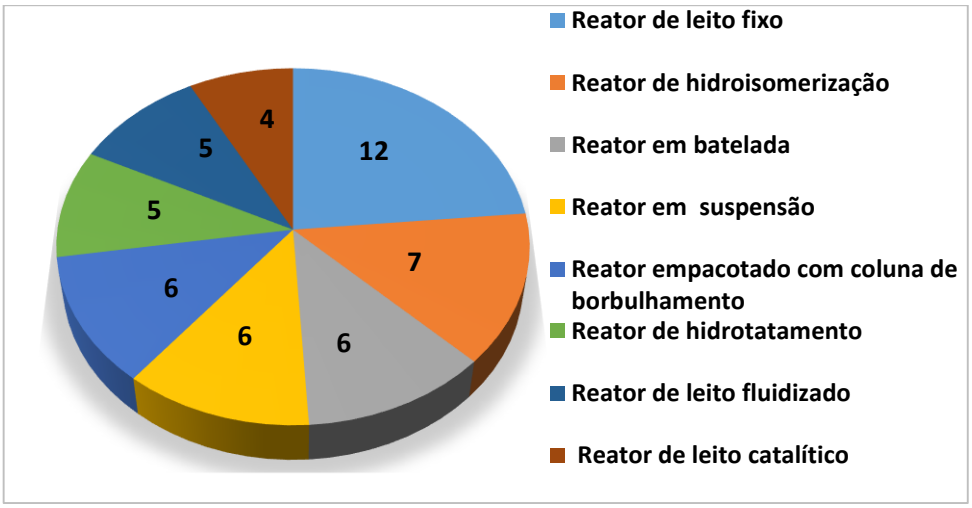


Figura 23. Análise Micro de patentes concedidas - Equipamento.

O reator de leito fixo foi o mais citado nos documentos, seguido do reator de hidroisomerização, que está relacionado com a análise das reações com maior destaque na

análise de patentes concedidas, corroborando com a isomerização, mencionada anteriormente com o maior número de documentos citados.

As invenções das patentes concedidas apresentam um interesse significativo em relação aos Processos de Produção do diesel verde, destacando a criação de métodos na recuperação de hidrogênio e a diminuição de componentes contaminantes como o enxofre entre outros. Da mesma forma existe uma tendência para o uso de Micro-organismos na maioria dos processos, incluindo a sua modificação genética, com o propósito de obter um produto com características aperfeiçoadas. Teoricamente, as patentes concedidas mostram os *players* que estarão atuando em um cenário de curto prazo, em um horizonte de 0-5 anos, demonstrando um grau avançado do desenvolvimento da tecnologia pelo detentor da patente, pois, se já houve proteção, o objeto está mais próximo de sua fase comercial (BORSCHIVER, 2016).

As empresas mais destacadas nas patentes concedidas apresentam o foco de suas invenções (Tabela 8).

Tabela 8. Foco do documento das empresas destacadas nas patentes concedidas.

Empresas	**Foco do Documento (Taxonomias)**
Solazyme, Inc.	Matérias-primas (Microalgas) e Micro-organismos
UOP LLC	Processo de produção (Recuperação melhorada de hidrogênio)
Phillips 66 Company	Avaliação de Critérios (Processo para reduzir a corrosão de óleos / gorduras)
Neste Oyj	Micro-organismos
ExxonMobil Research and Engineering Company	Processo de produção (*Dewaxing* do combustível diesel renovável)
Syntroleum Corporation	Processo de produção (Método para a remoção de fósforo)

4.2.3 Patentes solicitadas

4.2.3.1 Análise Macro

A análise Macro abrange o histórico de patentes solicitadas, os países que apresentam maior número de patentes solicitadas, as fontes mais importantes (empresas, universidades) ligadas ao conhecimento científico e processos de produção do diesel renovável, no período estudado. A primeira análise é a evolução do conhecimento tecnológico em número de patentes solicitadas analisadas por ano, como apresentado na Figura 24. Desde o ano 2013 existe um notável interesse na pesquisa sobre a produção de diesel verde, sendo possível traçar sua evolução, tanto em número de artigos científicos como em número de patentes concedidas.

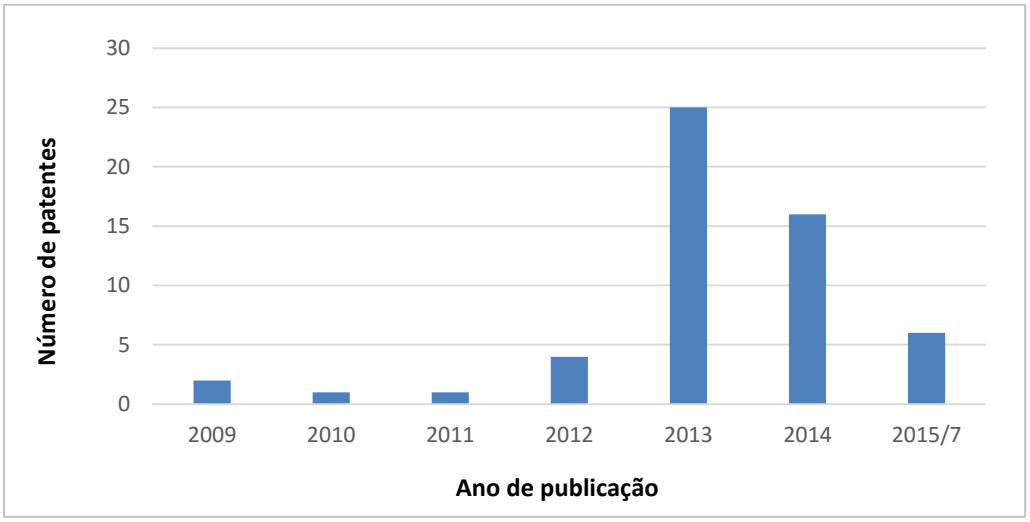


Figura 24. Análise temporal - Distribuição de patentes solicitadas analisadas por ano.

Outra análise refere-se à origem das publicações, identificando-se os países que estão direcionando maiores esforços científicos para a utilização do diesel verde. A Figura 25 mostra uma análise da localização. Analogamente ao observado na análise de artigos científicos e patentes concedidas, os Estados Unidos se mantém com maior número de patentes solicitadas dentro do universo analisado. A indústria da aviação nos EUA continua avançando rapidamente com a tecnologia de biocombustíveis. Em seguida, os dados apontam para a Itália, que possui intensa pesquisa na produção do diesel verde com a companhia Eni.

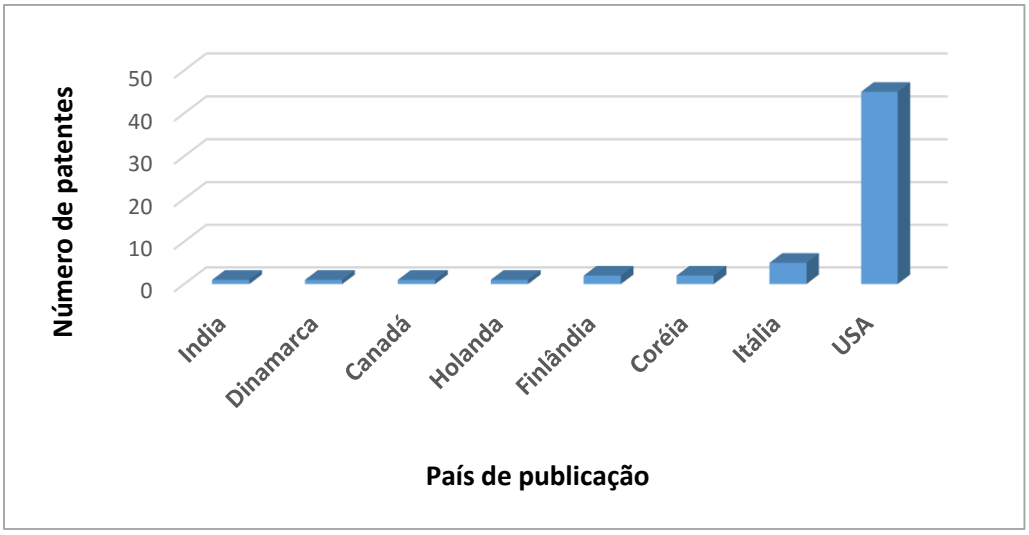


Figura 25. Análise de localização - Número de patentes solicitadas analisadas por país.

As empresas detêm a autoria da maioria das patentes solicitadas, mostrando um importante interesse da indústria de combustíveis a partir de fontes renováveis. A Figura 26 apresenta as empresas mencionadas com maior frequência nas patentes solicitadas analisadas.

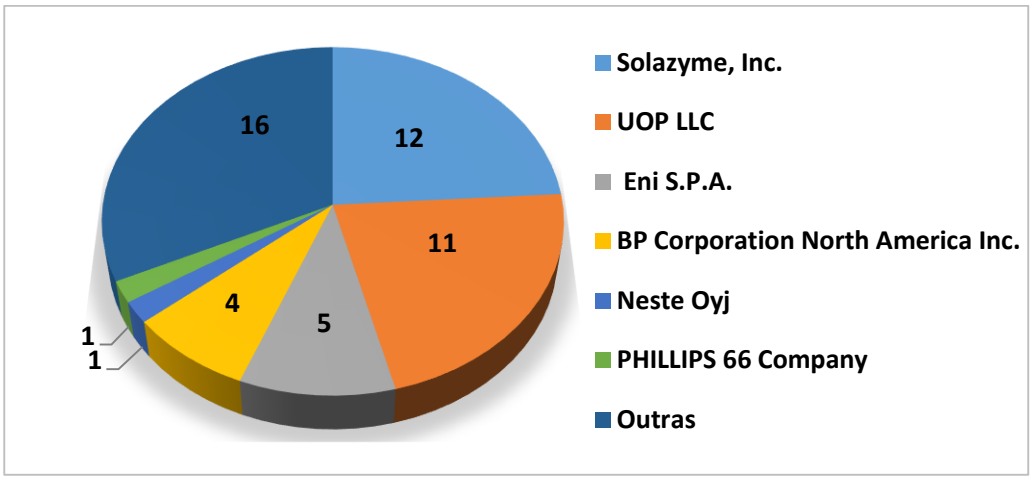


Figura 26. Análise do depositante de patentes solicitadas - Empresas depositantes.

Existe um forte interesse das empresas, jà consolidadas no campo dos combustiveís e biocombustíveis, em pesquisas acerca do diesel verde, reproduzindo sua liderança no depósito de patentes, com destaque para Solazyme, Inc., UOP LLC, Eni S.PA, BP corporation North America, Neste Oyj, Exxonmobil e Phillips 66 company. Também é possível observar a participação de universidades envolvidas com essas pesquisas, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9. Análise Macro de patentes solicitadas. Universidades/ Centros de pesquisa.

Universidades/centro de pesquisa	Número de Patentes
Utah State University, North Logan UT	1
Massachusetts Institute of Technology	1
Regents of the university of Minnesota (minneapolis)	1
Korea Institute of Science and Technology	2

Já observado anteriormente, destaca-se o Instituto Coreano de Ciência e Tecnologia (KIST), de caráter multi-disciplinar localizado em Seul, na Coréia do Sul. Possui uma equipe composta por aproximadamente 1.800 integrantes entre cientistas, cientistas visitantes, cientistas estrangeiros, bolsistas e estagiários envolvidos em pesquisas de diversas áreas da ciência e tecnologia.

4.2.3.2 Análise Meso

Na análise Meso, as patentes solicitadas são categorizadas de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do diesel renovável. Estes aspectos foram devidamente identificados na etapa inicial do estudo, cujo foco foi apontar as grandes áreas de produção do diesel renovável. De acordo a Figura 27 e com as taxonomias supracitadas em 4.2, observa-se que o Processo de Produção e Matéria-prima são as categorias mais relevantes, seguidas de Catalisadores, Análise de Critérios, Equipamento e os Micro-organismos.

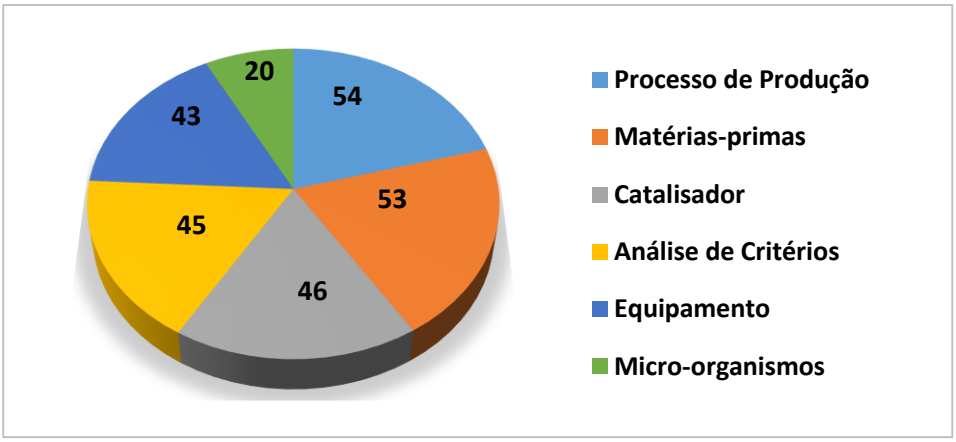


Figura 27. Análise Meso de patentes solicitadas - Taxonomias.

4.2.3.3 Análise Micro

Nesta etapa do trabalho, cada taxonomia da análise Meso é detalhada e identificada em função de suas particularidades, como os tipos de Processo de Produção, Matéria-prima, Catalisadores, Equipamento e uma Análise de Critérios e Micro-organismos. A categoria com maior frequência foi o Processo de Produção, dividida em três partes: pré-tratamento, processamento e as reações principais. No detalhamento das tecnologias, inicia-se com a análise da etapa de pré-tratamento, onde o único processo encontrado foi a hidrólise, com seis patentes solicitadas. Os diferentes tipos de processos encontrados na análise das patentes solicitadas são apresentados na Figura 28.

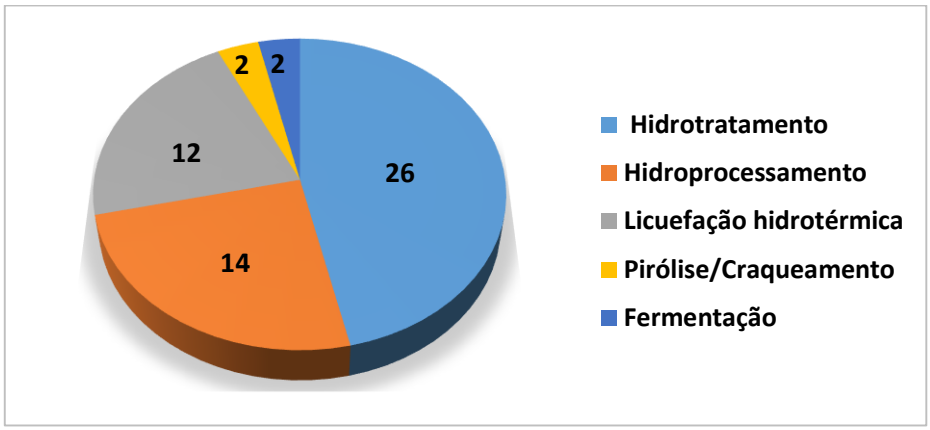


Figura 28. Análise Micro de patentes solicitadas - Processo de Produção.

O processo de hidrotratamento continua liderando a categoria, assim como o hidroprocessamento, os quais são os processos convencionais na produção do diesel. Outras pesquisas avaliaram a liquefação. Por fim, foram citados dois processos que não tem sido alvo de interesse em termos de patentes, como a pirólise e a fermentação. As reações envolvidas no processo da producão do diesel verde mais citadas nas patentes solicitadas são apresentadas na Figura 29.

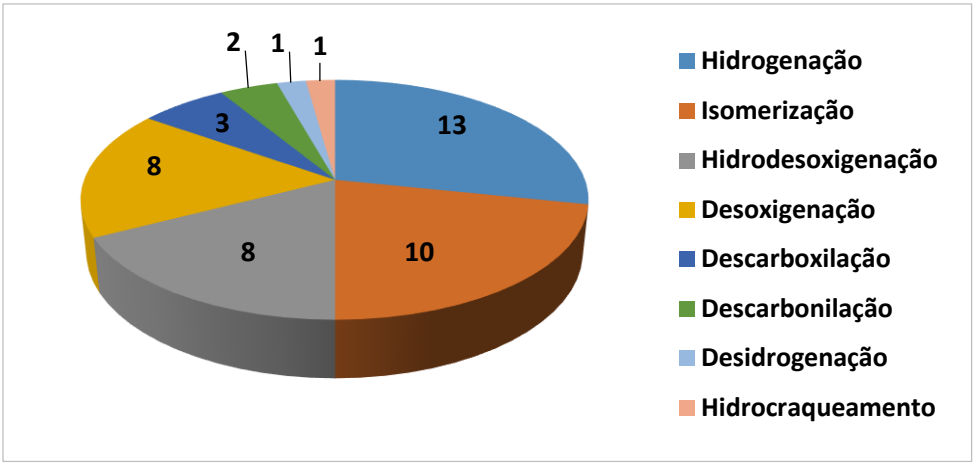


Figura 29. Análise Micro de patentes solicitadas - Principais reações dos Processos de Produção**.**

As reações mais exploradas nos documentos são as reações que se encontram na etapa inicial do Processo de Produção do diesel verde, quais sejam: hidrogenação, hidrodesoxigenação e desoxigenação. Também, destaca-se a reação de isomerização, a qual encontra-se na etapa final do processo, com o propósito de melhorar as propriedades a frio do diesel verde. Outra categoria identificada com frequência foi a Matéria-prima, conforme observado na Figura 30, durante análise das patentes solicitadas analisadas.

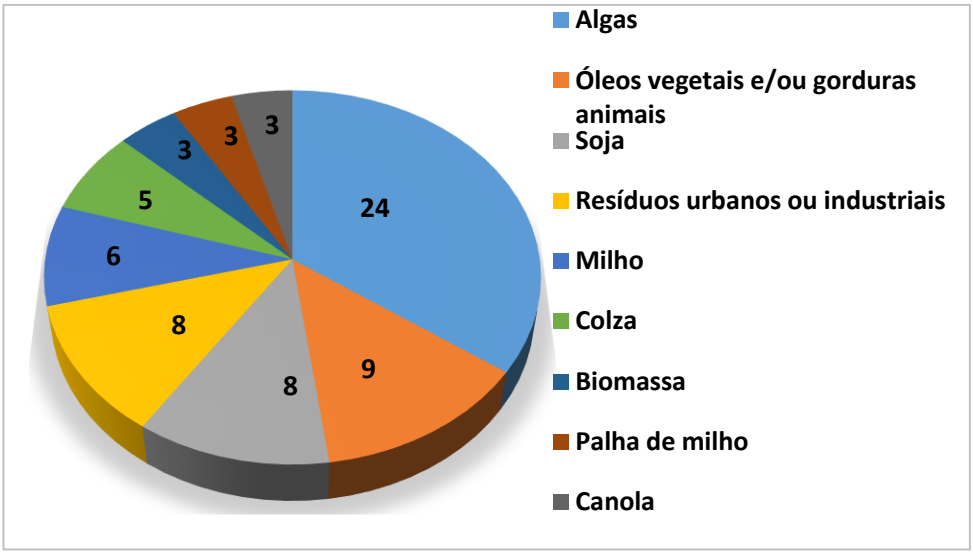


Figura 30. Análise Micro de patentes solicitadas - Matérias-primas.

A maioria das pesquisas refere-se ao uso de algas como a Matéria-prima na produção de diesel verde, bem como óleos vegetais/gorduras animais, biomassa e resíduos urbanos/industriais. Em uma quantidade considerável de patentes, as invenções referem-se à produção de óleos, combustíveis e óleos químicos feitos a partir de micro-organismos.

Em particular, as patentes referentes ao uso das microalgas versam sobre os óleos produzidos no interior das células e os métodos de cultivo para a produção de compostos úteis, incluindo os lipídios, ésteres de ácidos graxos, ácidos graxos, aldeídos, álcoois e alcanos. Adicionalmente, são reportados os métodos e os reagentes utilizados para alterar geneticamente as microalgas, visando intensificar e melhorar a eficiência da produção.

Os micro-organismos, tais como algas, bactérias e fungos podem conter triglicerídeos em uma concentração equivalente a 80% de matéria seca, em toda sua composição. No entanto, muitos empecilhos e dificuldades precisam ser superados na etapa de recuperação de lipídios a partir da biomassa desses micro-organismos, pois os métodos convencionais de separação, afetam negativamente o aproveitamento de forma integral da biomassa residual em outras aplicações.

Algumas algas, por exemplo, são ricas em lipídeos, robustas e fáceis de cultivar. A dificuldade de operação com algumas espécies de algas reside na composição de sua parede celular, praticamente impossível de se quebrar com métodos convencionais para liberação dos lipídios do interior celular. Por outro lado, mantém íntegra a qualidade da biomassa residual das algas, permitindo o processamento e a utilização continuada.

Uma das invenções aborda os problemas acima mencionados de uma forma alternativa, indicando um método para a recuperação do óleo a partir de células de biomassa. Dessa forma, o registro aborda as questões aos desafios acerca da obtenção de óleo a partir do uso de algas como matéria-prima para produção de diesel renovável, como no processo *NExBTL*. A ruptura de células de algas por meios biológicos convencionais torna possível quebrar facilmente as paredes celulares de micro-organismos. Este método pode ser aplicado a vários tipos diferentes de células microbianas e de algas. Os procedimentos usados no método bioquímico supracitado promovem o rompimento preferencial das paredes celulares e/ou membranas das espécies de micro-organismos produtores de lipídios, sem prejudicar o meio ambiente, uma vez que os insumos e resíduos gerados se decompõem na natureza (LEGRAND, 2014).

A Figura 31, mostra os diferentes Catalisadores utilizados no processo de produção do diesel verde:

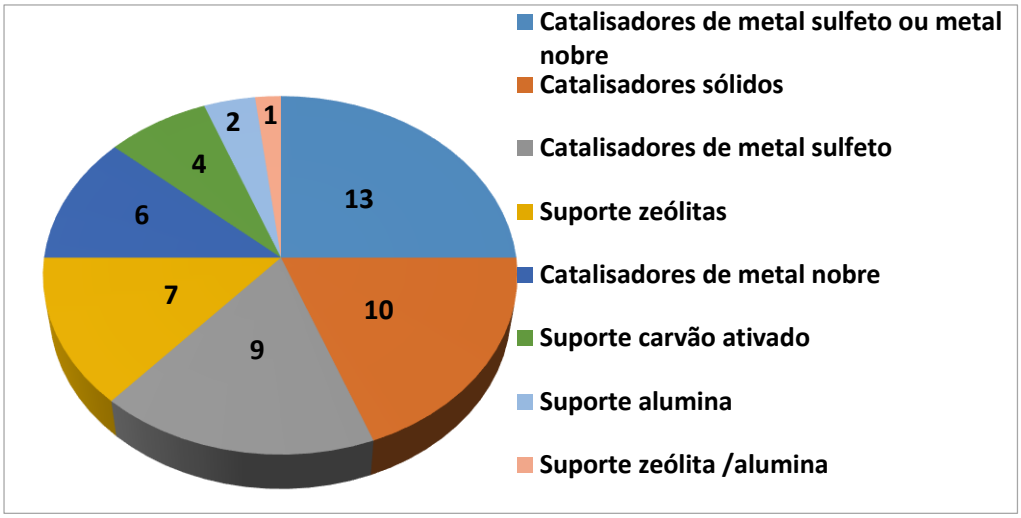


Figura 31. Análise Micro de patentes solicitadas – Catalisador.

Os Catalisadores de metal sulfeto ou metais nobres, geralmente sólidos, foram os mais citados nas patentes solicitadas, juntamente com os suportes de zeólita. Na Análise de Critérios os resultados encontrados foram apresentados na Figura 32.

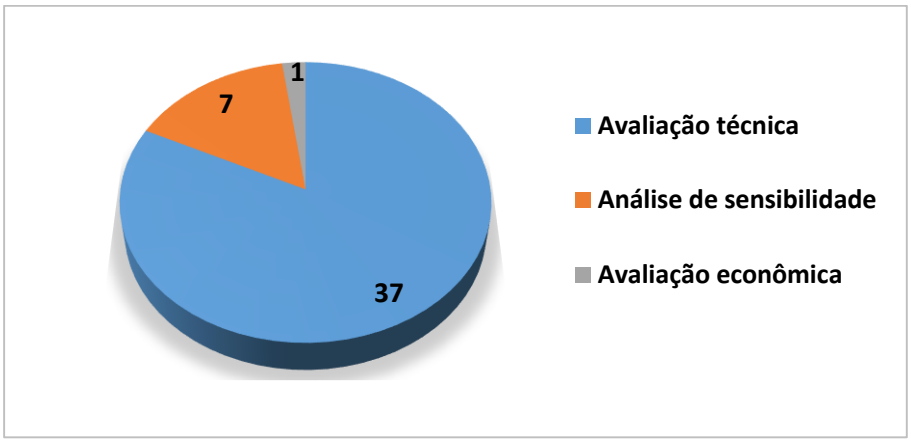


Figura 32. Análise Micro de patentes solicitadas – Avaliação de Critérios**.**

A análise de maior destaque foi a avaliação técnica do diesel renovável, compreendendo os seguintes métodos: cromatografia gasosa (GC) e análise de detecção de ionização de chama (FID). Na análise do Equipamento usado no processo, os resultados encontrados são apresentados na Figura 33.

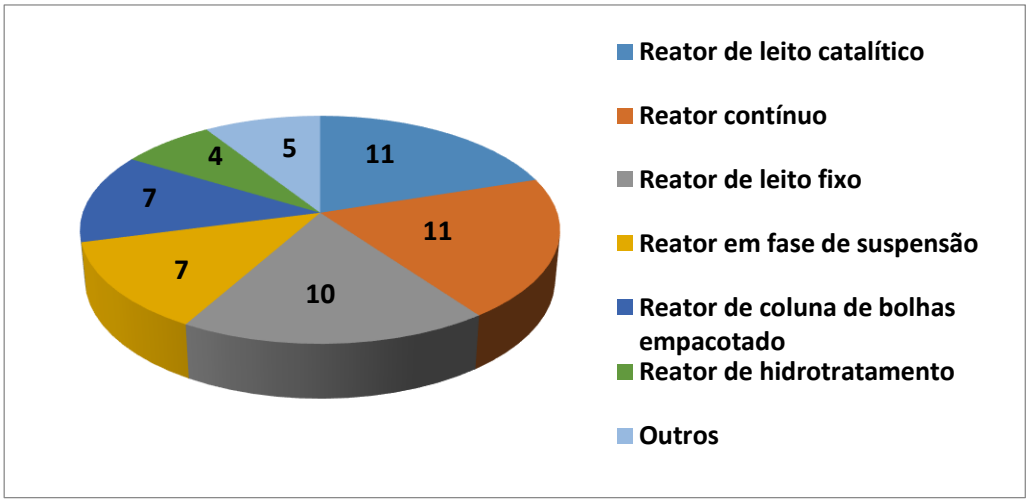


Figura 33. Análise Micro de patentes solicitadas - Equipamento.

Os Equipamentos com maior destaque foram os reatores de leito catalítico e contínuo, seguidos do reator de leito fixo. Existe uma importante participação dos Micro-organismos no Processo de Produção do diesel verde, de acordo com as pesquisas das patentes solicitadas. Os resultados obtidos na análise desta taxonomia são apresentados na Figura 34.

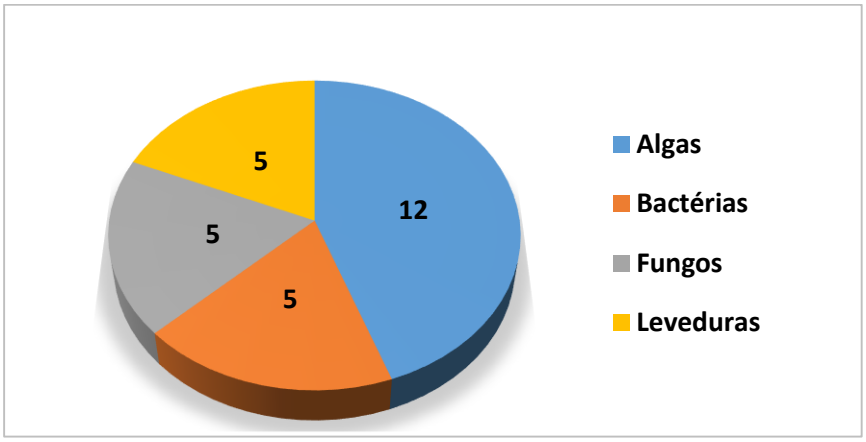


Figura 34. Análise Micro de patentes solicitadas - Micro-organismos.

De acordo com os apontamentos, as algas são geralmente os Micro-organismos mais citados. Cabe ressaltar que as pesquisas sinalizam para o uso de Micro-organismos geneticamente modificados, os quais podem ser usados na produção de óleo diesel e combustível renovável de aviação.

As patentes solicitadas mostram os *players* que estarão atuando em um cenário de médio prazo, em um horizonte de 5-10 anos, que, apesar de também demonstrar um grau avançado do desenvolvimento da tecnologia pelo detentor da patente, como a proteção está em análise, possivelmente o objeto está mais distante de sua fase comercial (BORSCHIVER, 2016). As

invenções são direcionadas principalmente aos Processos de Produção, tanto na optimização como na integração das diferentes tecnologias utilizadas na atualidade. Também, as empresas tomaram em consideração a avaliação de Matérias-primas, o uso de Micro-organismos na obtenção de diesel verde e o melhoramento dos Catalisadores empregados no processo.

Em seguida são listadas as empresas mais citadas nas patentes solicitadas em relação ao foco das suas invenções (Tabela 10).

Tabela 10. Foco das invenções das empresas nas patentes solicitadas.

Empresas	**Foco do Documento (Taxonomias)**
Solazyme, Inc.	Matérias-primas (Microalgas) e Micro-organismos
UOP LLC	Processo de produção (Tratamento de gás hidrogênio reciclado, processo integrado de hidrólise/hidroprocessamento, processos com consumo reduzido de hidrogénio)
Eni S.P.A	Processo de Produção, Matérias-primas (Microalgas) e Micro-organismos
BP Corporation North America Inc.	Processo de Produção (Estratégia de refinaria para o diesel renovável), pré-tratamento (tecnologia de difusor de contra-corrente para pré-tratamento de substratos lignocelulósicos)
Neste Oyj	Matérias-primas
Phillips 66 Company	Processo de Produção
ExxonMobil Research and Engineering Company	Catalisador (Empilhamento de catalisadores CoMo e NiMo para a produção de diesel renovável)

4.3 Conclusões sobre a Fase de Prospecção Tecnológica: Diesel Verde

A seguir, estão listadas algumas considerações finais acerca do estudo de prospecção tecnológica de diesel verde:

- Foi encontrada uma quantidade considerável de documentos desde o ano 2013, indicando um interesse recente e cada vez mais crescente sobre a temática abordada, com ênfase para o ano de 2014, devido à implantação de políticas governamentais no mundo que determinaram o pagamento das emissões por parte das companhas aéreas desde o ano 2012, motivando aos pesquisadores a direcionar seus estudos em biocombustíveis de aviação.
- Observou-se que os Estados Unidos estão liderando as pesquisas em relação à produção de diesel verde. A Finlândia e a Itália estão em fase de desenvolvimento avançado em suas pesquisas, apresentando patentes concedidas e solicitadas com significativa relevância. Adicionalmente, a China e o Brasil demonstram um ligeiro crescimento na pesquisa e considerável quantidade de artigos científicos identificados.
- A empresa UOP LLC dos Estados Unidos possui a maior quantidade de documentos (artigos científicos, patentes concedidas e solicitadas), enquanto a empresa Solazyme vem galgando uma relevante participação no campo das patentes em relação ao uso de Micro-organismos usados na produção de diesel verde. As empresas Neste Oyj da Finlândia e a Eni S.P.A da Itália também vem apresentando papel importante no depósito de patentes.
- As taxonomias mais relevantes em todos os documentos foram a Matéria-prima e o Processo de produção, ratificando assim o interesse pela otimização dos processos e a busca por melhores matérias-primas.
- A Matéria-prima com maior destaque em todos os documentos foi a biomassa algal. Nos artigos científicos foram apresentadas as matérias primas renováveis convencionais como a soja, a camelina, a palma e as patentes apresentam novas alternativas renováveis como os resíduos urbanos ou industriais e os resíduos vegetais ou de gorduras animais.
- Os processos associados à produção do diesel petroquímico foram os mais citados em todos os documentos, devido à vantagem na produção de diesel verde na infraestrutura de uma refinaria convencional. Foi possível observar o interesse na melhoria das etapas deste processo, conforme foram apresentadas algumas reações relevantes do processo.

- Os autores das patentes estão direcionando a pesquisa na utilização de Micro-organismos geneticamente modificados, que podem ser usados na produção de óleo diesel e combustível renovável de aviação.

4.3.1 Cenários Futuros

Com os resultados das diferentes tendências tecnológicas adquiridas no presente estudo é possível projetar alguns cenários futuros em diferentes estágios temporais como curto, médio e longo prazo.

Critérios de avaliação de cenários futuros:

- O Cenário 1 apresenta a rota tecnológica que será implementada em um estágio temporal de curto prazo (0-5 anos).
- O Cenário 2 apresenta a rota tecnológica que será implementada em um estágio temporal de médio prazo (5-10 anos).
- O Cenário 3 apresenta a rota tecnológica que será implementada em um estágio temporal de longo prazo (10-15 anos).

Os diferentes cenários são descritos a seguir:

Cenário 1

- Processo de produção: Hidroprocessamento.
- Matéria-prima: Algas/Biomassa lignocelulósica/Resíduos de óleos vegetais ou gorduras animais.
- Catalisadores: Metal sulfeto/metal nobre com suporte de alumina.

Desafios e oportunidades:

Como visto na revisão bibliográfica, o processo de produção principal do diesel verde é o hidroprocessamento, que pode ser adaptado da infraestrutura da refinaria convencional. Consequentemente, este processo já está sendo utilizado na indústria dos biocombustíveis, devido ao seu alto rendimento na eliminação de impurezas. A obtenção do hidrogênio apresenta-se como um gargalho tecnológico, portanto os estudos estão direcionados à otimização de esse processo.

Em relação às matérias-primas pertinentes para o processo, já existe uma produção com biomassa lignocelulósica, embora ainda sejam utilizadas matérias-primas que

concorrem com a produção alimentar. Portanto, as pesquisas estão se voltando para duas alternativas: primeiro para as algas, as quais não competem com o setor alimentar, tem uma alta produção de óleo entre outras vantagens, Não obstante, existem desafios para otimização de custos e implantação em grande escala. Como segunda alternativa, apresentam-se os resíduos de óleos vegetais ou de gorduras animais, que vêm sendo promissores, devido a seu baixo custo e fácil acesso, embora seja necessário o desenvolvimento de pesquisas para implantação em grande escala.

Os catalisadores utilizados nos processos da refinaria convencional foram os mais citados nos documentos (artigos científicos e patentes), como os catalisadores de metal sulfeto em suporte de alumina. Esses catalisadores são eficientes, porém precisam de uma fonte de enxofre adicional, quando as matérias-primas não possuem esse elemento. Consequentemente, aparece uma alternativa como o uso de catalisadores de metal nobre, os quais são promissores, na medida em que sejam economicamente competitivos.

Cenário 2

- Processo de produção: Liquefação hidrotérmica.
- Matéria-prima: Algas.
- Catalisadores: sem catalisadores.

Desafios e oportunidades:

A liquefação hidrotérmica é um método de conversão capaz de processar a biomassa para produzir bio-óleo de alta energia e densidade. A tecnologia envolve o uso de água no meio reacional, o que não requer secagem e, adicionalmente, os componentes inorgânicos ficam dissolvidos na fase aquosa, produzindo um combustível mais limpo e sem cinzas.

O uso de biomassa de algas para a produção de biocombustíveis oferece um grande número de vantagens frente à biomassa obtida de plantas terrestres. Como as algas são cultivadas em água, não competem com as terras utilizadas para cultivar alimentos, sendo essa uma grande questão socioeconômica na produção de biocombustível a partir de plantas, considerando que a população mundial cresce a cada ano. Outra vantagem é que, durante seu crescimento, as algas absorvem mais CO_2 que as plantas terrestres devido à sua elevada atividade fotossintética, e por último, podem contribuir na limpeza de águas contaminadas.

O processo em escala industrial ainda precisa ser avaliado, o que é um grande desafio, embora, a tecnologia seja uma alternativa promissora no campo dos biocombustíveis, devido ao seu elevado rendimento.

A presença dos catalisadores não contribui ao processo porque a tecnologia está focada no aquecimento rápido, capaz de produzir o óleo com propriedades moleculares que tornam seu refino mais simplificado e consequentemente esse fato possibilita a diminuição de custos.

Cenário 3

- Processo de produção: Pirólise/Craqueamento.
- Matéria-prima: Biomassa lignocelulósica/Resíduos de óleos vegetais ou gorduras animais.
- Catalisadores: Zeólitas.

Desafios e oportunidades:

A pirólise produz como principais produtos o bio-óleo, gás combustível e carvão. Os produtos, podem ser utilizados na geração de calor e eletricidade ou passar por processos de melhoramento para serem usados com combustível e/ou outros produtos químicos. A conversão termoquímica de biomassa traz uma oportunidade de produzir produtos múltiplos (de alto valor) em concomitância com a produção de carvão vegetal. Isto poderá levar ao uso de carvão vegetal na agricultura para produção sustentável e sequestro de carbono, enquanto possibilita também ganhos extras mediante a produção de valorosos co-produtos.

A tecnologia de pirólise também se torna prestigiada, pelo motivo de utilizar rejeitos das mais variadas atividades e por produzir soluções renováveis de energia, embora precise ser estudada e aperfeiçoada para, futuramente, ser utilizada em grandes projetos focados na produção de energia. O craqueamento com zeólitas ajuda a incrementar a estabilidade térmica e alguns dos produtos da reação são: hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, compostos orgânicos solúveis em água e óleo, gases (CO, CO2) e coque.

As zeólitas ajudam na síntese de produtos com temperaturas e pressões mais amenas, portanto os custos operacionais podem ser reduzidos. Da mesma forma que são utilizadas para o controle da seletividade da reação, o que reduz os custos com suprimentos das cargas, os fluxos de resíduos e os custos de tratamento.

No próximo capítulo será abordada uma análise da indústria do diesel verde no setor da aviação que permitirá relacionar as principais tendências tecnológicas com suas respetivas estratégias mercadologias.

CAPITULO 5

5. ANÁLISE ESTRUTURAL DA INDÚSTRIA DO DIESEL VERDE NO SETOR DA AVIAÇÃO.

Desde os anos 80, o tráfego aéreo tem crescido em média cinco por cento ao ano, apesar de todos os problemas no sistema de aviação e das oscilações negativas na economia global. Segundo Tony Tyler, diretor geral da Associação Internacional do Transporte Aéreo (IATA), em 2014 o número de passageiros do setor aéreo alcançou a marca de aproximadamente 3 milhões, enquanto a indústria da aviação movimentou 746 bilhões de dólares, o equivalente a 1% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial. Desse montante, a margem de lucro líquido correspondente seria de 2,4% ou, menos de seis dólares por passageiro transportado (PARANÁ-ONLINE, 2014).

Nesse mérito, o combustível corresponde a cerca de 30% dos custos de uma companhia aérea (PARANÁ-ONLINE, 2014). Somente o mercado americano consome 140 bilhões de galões de gasolina e diesel por ano, no qual em média três bilhões de galões, 10% do mercado, são utilizados somente pela USAF (United States Air Force) como combustível para aviação (MAURICE, 2001). Ainda segundo a USAF, a previsão estima que até o ano de 2020 as fontes usuais à produção de querosene de aviação podem se tornar cada vez mais escassas, impossibilitando o atendimento da crescente demanda mundial (MAURICE, 2001). Dessa forma, faz-se necessário a investigação de fontes alternativas, passíveis de aperfeiçoamento por meio de pesquisas que possam viabilizar o suprimento das expectativas acerca da demanda em reduzido intervalo de tempo.

Nesse contexto, novas estratégias para substituir de forma sustentável os combustíveis fósseis estão sendo amplamente estudadas. No entanto, devem-se considerar as principais dimensões envolvidas, como a escolha e produção da matéria-prima, as questões técnicas do processo e ainda as questões sociais intrinsecamente ligadas ao meio ambiente e a segurança alimentar.

Vale destacar, as iniciativas da Boeing e da fabricante de motores *Pratt & Whitney*. Enquanto a Boeing tem sido ativa no *lobby* pela homologação de "diesel verde" produzido a partir de gorduras hidrocraqueadas, tanto de origem vegetal quanto animal, a *Pratt & Whitney*

homologou o motor turboélice PT6A-15AG usado em aviões agrícolas *Air Tractor*, fabricado pela subsidiária localizada no Canadá.

A série PT6 é uma das mais populares entre todos os motores do tipo turboélice, sendo usada também em modelos destinados para a aviação regional, para o táxi aéreo e transporte aeromédico (MEDEVAC), como o *Beechcraft King Air*, o de *Havilland Canada DHC-6 Twin Otter*, o *Antonov An-28* e o *Piaggio P180 Avanti* e, respectivas versões militares, bem como em alguns aviões desenvolvidos especificamente para uso militar, como os modelos Embraer *EMB 312 Tucano*, *EMB 314 Super Tucano* e o *UAV israelense IAI Eitan*. Dessa forma, o mercado potencial para o Diesel pode ser considerado bastante amplo (DIESELNUTZ, 2015).

Atualmente, ainda não existe um estudo que considera uma análise estrutural do diesel verde como biocombustível na indústria da aviação. Diante do exposto, o presente estudo foi concebido com o objetivo de analisar o modo como o diesel verde está situado dentro da indústria, utilizando a metodologia das Forças de Porter.

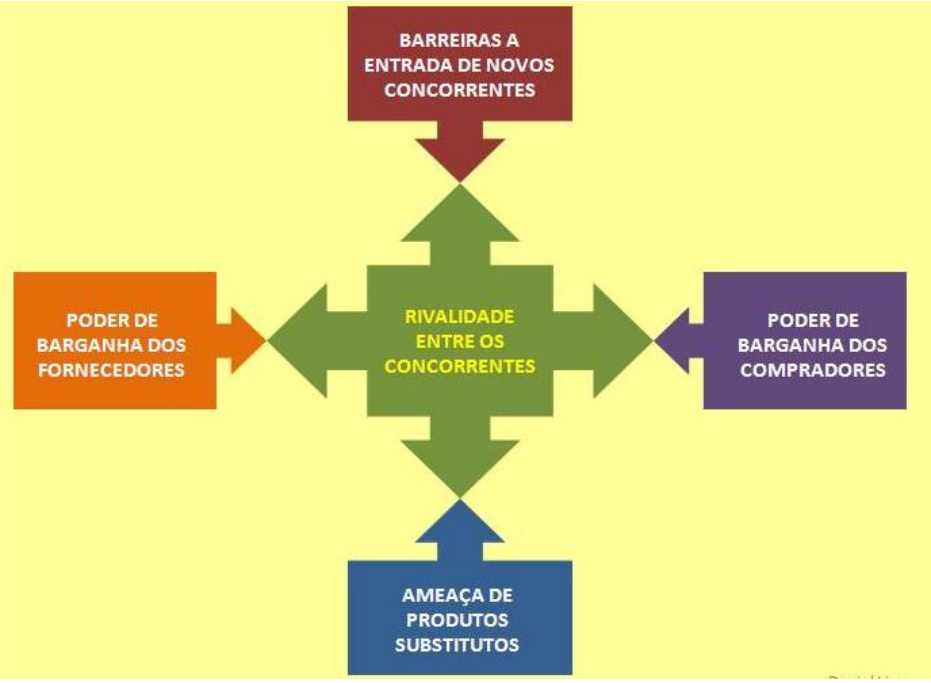
5.1 Forças de Porter

Na década de 80 foi desenvolvido um modelo de análise das estratégias mercadológicas de empresas, no qual diferentes mercados industriais podem ter sua rentabilidade estimada e comparada. Além disso, em cada setor a rentabilidade da empresa pode ser comparada à média do mesmo.

Michael Porter (1980), ofereceu um modelo para a análise da competição na indústria e elaboração de uma estratégia competitiva. O mais importante, entre seus conceitos, foram seu modelo de análise competitiva, seu conjunto de estratégias genéricas e sua cadeia de valor. De acordo com o estudioso, a essência da criação de uma estratégia competitiva consiste em relacionar uma organização ao seu ambiente, identificando as regras competitivas em vigor para então desenvolver uma estratégia (ALMEIDA, 2009).

O modelo teórico de Porter (1986) define cinco forças competitivas, que determinam a intensidade da competição em um dado setor de atividade econômica. Segundo essa metodologia, as empresas devem encontrar um posicionamento que lhes permita reagir às forças competitivas presentes no mercado ou encontrar uma forma de influenciá-las ao seu favor. A adaptação necessária desse modelo introduz a influência regulatória e legal como uma Sexta Força obrigatória em indústrias, caracterizadas pela forte regulamentação de suas atividades e ambientes concorrenciais (SPAGNUOLO, 2010).

A estratégia definida, aliada ao conjunto das habilidades de implantação da empresa, objetiva garantir o melhor posicionamento possível em seu setor ou grupo estratégico. Isso seria possível pela análise de cinco forças competitivas, conforme ilustrado no Quadro 13 e descrito a seguir.



Quadro 13. As cinco forças que determinam a atratividade estrutural dos segmentos
Fonte: Adaptado de PORTER, 1985.

Barreiras à entrada de novos concorrentes - uma indústria é como uma associação na qual as empresas ganham acesso por superarem certas barreiras à entrada, tais como economias de escala, requisitos básicos de capital e lealdade dos clientes às marcas estabelecidas. De acordo com Porter (1980), barreiras elevadas diminuem a ameaça de novos concorrentes.

Poder de barganha dos fornecedores - como os fornecedores buscam o maior lucro possível, obtido a partir da regulação dos preços, surge naturalmente uma luta de poder entre as empresas e seus fornecedores. A vantagem é da empresa com mais opções ou com menor prejuízo por perdas com término de relação com clientes. Por exemplo, uma empresa que não precisa vender a maior parte da sua produção a um cliente, ou que fabrica um produto único sem substitutos próximos.

Poder de barganha dos compradores - os clientes de uma empresa querem que os preços baixem ou que a qualidade aumente. Sua capacidade para fazê-lo depende da quantidade desejada na compra, do grau de informação, da sua disposição para avaliar alternativas, entre outros.

Ameaça de produtos substitutos - a concorrência depende da extensão pela qual os produtos em uma indústria são substituídos por produtos de outras. De acordo com Ghemawat (2000), a ameaça de produtos substitutos depende principalmente das proporções relativas do preço e desempenho dos demais tipos de produtos e serviços que os clientes podem recorrer para satisfazer a mesma necessidade básica. A ameaça de produtos substitutos é afetada pelos custos de mudanças em áreas como treinamento, novas estratégias ou projetos, decorrentes da migração de um cliente para outro produto ou serviço.

Rivalidade entre os concorrentes – os fatores determinantes do grau de rivalidade entre os concorrentes de uma indústria são diversos: concentração do mercado, custos fixos elevados, existência de diferenciação, taxa de crescimento da demanda, entre outros (ALMEIDA, 2009).

5.2 Análise das Forças de Porter na Indústria do Diesel Verde.

A indústria do diesel verde é considerada como uma indústria emergente, que pode ser definida como uma indústria recentemente formada ou reformada a partir de inovações tecnológicas, alterações nas relações de custos relativos, mudanças nas necessidades dos consumidores, entre outros fatores que potencializam o aproveitamento de um novo produto ou serviço como uma oportunidade viável de negócio (BARNEY, 2007; PORTER, 2004).

Essencialmente, a principal característica de uma indústria emergente no tocante à estratégia é a ausência de regras de competitividade no ambiente em questão. Assim, as regras do ambiente são estabelecidas conforme a indústria se desenvolve, o que é uma fonte simultânea de riscos e oportunidades para os empreendedores (PORTER, 2004).

Em relação ao ambiente estrutural, uma indústria emergente pode ser caracterizada por incerteza tecnológica e estratégica, altos custos iniciais, nascimento de novas empresas pelo desmembramento de outras, predominância de compradores pela primeira vez dos produtos e serviços e presença de subsídios para setores especiais (PORTER, 2004). As indústrias

emergentes enfrentam uma série de desafios e obstáculos ao seu desenvolvimento. Dentre elas, merecem destaque a incapacidade de obter matérias primas e componentes, rápida escalada dos preços de matérias-primas, ausência de infraestrutura e padronização, risco de obsolescência de tecnologia e processos, qualidade irregular dos produtos, confusão de clientes e resposta de entidades ameaçadas.

Nesse sentido, a posição do empreendedor pioneiro na indústria emergente envolve tanto vantagens como riscos. Um dos principais fatores da manutenção do posicionamento estratégico da empresa está em sua capacidade de influenciar o desenvolvimento das regras da indústria (PORTER, 2004).

Barney (2007) chama de "vantagens de pioneiro" as principais formas de o empreendedor pioneiro estabelecer as regras da indústria emergente. Esses movimentos estratégicos podem ser sumarizados da seguinte forma: a) Liderança tecnológica: quando as empresas pioneiras investem no desenvolvimento tecnológico de modo a obter vantagens de custo em função da eficiência e também proteções de patentes; b) Posse de ativos estratégicos: quando a empresa pioneira investe na posse dos recursos considerados estrategicamente valiosos para a produção no setor (seja em função do custo ou da qualidade), construindo uma importante barreira à entrada de novos concorrentes; c) Custos de mudança para o cliente: ocorre quando os clientes fazem investimentos a fim de usar os produtos ou serviços da empresa, dificultando a migração para a concorrência (BARNEY, 2007).

Dentro desse contexto, pode-se aplicar o modelo das forças de Porter na indústria do Diesel Verde no setor da aviação. Essa análise estrutural está consideravelmente relacionada com o estudo prospectivo elaborado no capitulo 4. As taxonomias mais relevantes no estudo como Processo de Produção e Matérias-primas serão o foco da análise das Forças de Porter na indústria do diesel verde:

5.2.1 Barreiras à entrada de novos concorrentes.

Segundo Porter, as novas empresas que entram em uma indústria trazem consigo nova capacidade de produção, novas tecnologias, o desejo de ganhar parcela de mercado e, frequentemente, recursos substanciais para investimentos. Como resultado, os preços podem diminuir ou os custos dos participantes aumentar, reduzindo a rentabilidade do negócio. Companhias provenientes de outros mercados, ou de indústrias que estão se diversificando mediante aquisições em uma determinada indústria com frequência empregam seus recursos para introduzir mudanças, como o uso do mecanismo de diferenciação em relação aos atuais

participantes. Assim, a aquisição de uma empresa já existente em uma indústria, tendo a intenção de construir uma posição no mercado, também deve ser vista com uma entrada, embora nenhuma empresa inteiramente nova tenha sido criada.

Uma barreira à entrada de novos competidores é feita pelo grau de investimento envolvido no lançamento dessa nova indústria. Atualmente, o investimento em infraestrutura está voltado para a produção de biocombustíveis, que versa desde a produção de óleo bruto até a obtenção de biocombustível. Além disso, a tecnologia envolvida na infraestrutura de processamento e produção de biocombustíveis representa um dos pontos-chave do negócio. O acesso a inovações permite alcançar margens de alto desempenho a um custo de produção relativamente mais baixo.

Existem algumas fontes principais de barreiras de entrada tais como: economia de escala, diferenciação de produtos, necessidade de capital, custos de mudança, acesso aos canais de distribuição, desvantagens de custos independentes de escala e políticas governamentais.

Uma vantagem do Diesel renovável é poder ser produzido utilizando-se a capacidade da refinaria de petróleo existente e não requerer novas e extensas instalações de produção. Adicionalmente, esse Diesel é compatível com a infraestrutura de distribuição do diesel utilizado atualmente e não necessita de novas ou modificadas condutas, tanques de armazenamento, infraestrutura de transporte rodoviário ou estação de varejo bombas.

Uma grande barreira na produção do diesel verde é a utilização de hidrogênio no processo de hidrotratamento. O H_2 pode ser obtido a partir de combustíveis fósseis ou da eletrólise da água. Embora exista uma grande variedade de tecnologias associadas à produção desse gás, as mesmas se apresentam em diferentes estágios de desenvolvimento e proporcionam escalas diferentes de produção.

Os processos para a produção de hidrogênio podem ser classificados em três segmentos: processos térmicos, processos eletrolíticos e processos fotolíticos. O primeiro é o mais representativo na indústria, enquanto os demais possuem um alto custo operacional ou ainda se encontram em fase experimental (CRUZ, 2010).

Essencialmente, o setor de aviação necessita de um substituto para o combustível à base de petróleo a fim de melhorar sua capacidade de reduzir as emissões de poluentes e também abordar a segurança energética. Esta etapa é a mais difícil para o setor de aviação porque, em relação ao transporte terrestre, combustível de aviação é limitado por um conjunto mais rigoroso de segurança, tecnologia e requisitos regulamentares. A facilidade na produção de diesel verde pode estar direcionada para as empresas que já trabalham no setor dos combustíveis, por já

possuírem ativos. Vale ressaltar que, um dos fatores mais vantajosos reside na localização da planta, preferencialmente próxima à fonte de matéria-prima renovável.

Foram aprovados dois processos na produção de biocombustível de aviação para uso comercial, e vários outros estão em vias de aprovação nos próximos anos. Já o combustível de jato convencional pode ser combinado com até 50% de biocombustível derivado de fontes alternativas, tais como camelina, óleo de cozinha usado e as algas, os quais têm sido utilizados em mais de 1.500 voos comerciais. Aumentar a disponibilidade de combustível de aviação sustentável é um componente crítico na estratégia da aviação para reduzir as emissões de poluentes. Atender a demanda de combustível nas companhias aéreas, com preços comparáveis aos dos combustíveis à base de petróleo, exige investimento contínuo e de apoio à política do governo (BOEING, 2013).

Evidentemente, o preço final do biocombustível depende da escala de produção das usinas e políticas de incentivos. No momento, a quantidade produzida ainda é pouco significativa, quando comparada aos mais de 225 milhões de litros consumidos diariamente por aviões comerciais nos Estados Unidos. O valor também depende em grande parte do custo de produção da matéria-prima, que tem uma tendência a grande flutuação devido à volatilidade do mercado de commodities (BIELLO, 2015).

O nível das barreiras de entrada indústria do diesel verde é alto porque, além de pesquisar, demonstrar uma tecnologia *biojet* em uma escala eficiente é uma etapa crítica para convencer os investidores sobre a viabilidade da tecnologia e concluir o processo de aprovação de combustível. Isso também fornece uma base para construir maiores instalações comerciais em economias de escala, em que o custo varia entre US $ 20 e 50 milhões (NOVELLI, 2013).

5.2.2 Poder de barganha dos compradores.

As necessidades dos compradores competem com as da indústria, pois enquanto para os empresários o importante é obter o maior lucro possível, os consumidores preferem produtos com menor valor de mercado, barganhando por melhor qualidade ou mais serviços, demandando menores preços e aumentando a competitividade pela concorrência, podendo comprometer a rentabilidade da indústria. O poder de cada grupo de compradores depende de certas características como a situação do mercado e a importância relativa de suas compras em comparação com seus negócios totais.

Assim, dependendo do potencial de demanda de uma empresa, em diferentes situações de mercado, o seu poder de barganha pode ser utilizado no objetivo de assegurar melhores

condições nas negociações de preço, quantidade vendida, condições de entrega especiais e, até mesmo, impedindo ou limitando o fornecimento do produto às demais empresas do setor. Os principais clientes na indústria do diesel verde são importantes companhias aéreas, tais como: Virgin Atlantic, Air New Zealand, Continental Airlines, Japan Airlines, KLM Royal Dutch entre outras, podendo ser classificados da seguinte forma (BOEING, 2013):

- ✓ O cliente está concentrado ou adquire grandes volumes em relação às vendas do vendedor: se uma parcela grande das vendas é adquirida por um determinado comprador, isso aumenta a sua importância nos resultados, ganhando barganha nas negociações frente seus concorrentes, uma vez que volumes menores aumentam os custos de transação para os fornecedores, diminuindo o poder de negociação dos clientes. No Brasil, A GOL Linhas Aéreas Inteligentes já formalizou em Minas Gerais, após interesse do governo mineiro e parceiros diversos, à Plataforma Mineira de Bioquerosene e Diesel Verde. Outro cliente importante é a aviação militar (ALVES, 2015).
- ✓ O comprador tem total informação: quando o comprador tem todas as informações sobre a demanda, preços reais do mercado e, mesmo sobre os custos dos fornecedores, isto em geral lhe atribui maior poder para a negociação do que quando a informação é deficiente.

Tendo isso em vista, pode-se concluir que o poder de barganha dos compradores no setor de aviação, por estarem limitados a esse setor, é classificado como alto e se caracterizam por adquirir grandes volumes de produtos.

5.2.3 Poder de barganha dos fornecedores.

Os fornecedores desempenham um papel importante em todas as indústrias. O sucesso e o fracasso das organizações estão muito associados às parcerias estabelecidas com seus fornecedores. Por esta razão, os conceitos e normas de qualidade tratam cada vez mais os fornecedores como parceiros, que devem ser avalizados e monitorados por meio de um relacionamento que vai além da simples compra e venda de produtos e serviços; avançando-se para a construção de relações de parceria com objetivos de ganhos mútuos (Silvia, 2009). Os principais fornecedores são os pequenos agricultores, as grandes companhias do setor de agronegócio que trabalham com matéria-prima renovável, as empresas que proveem a tecnologia nas refinarias convencionais e insumos para o processo, tais como*: BIOTEHGEN*, Camelina *Company España* (NOVELLI, 2013) e *Seeds, Genetic, Biofuels* (SGB) entre outras.

A decisão que as empresas fornecedoras de matéria-prima podem tomar entre comprar ou fazer internamente o que vendem, implica em decidir sobre seu posicionamento no mercado. Na maioria dos casos, as empresas consideram vantajoso executar internamente uma parte relevante dos processos administrativos, produtivos, de distribuição ou de marketing, necessários à fabricação de seus produtos ou serviços. Isto se dá pelo fato de as empresas terem a percepção de que esta estratégia seja de menor custo, menos arriscada e de fácil coordenação, visando assim a um processo de integração vertical. Essa integração é a combinação de processos de produção, distribuição, vendas e/ou outros processos econômicos tecnologicamente distintos dentro das fronteiras de uma mesma empresa, ou seja, todos os processos estão sob sua responsabilidade e controle, não dependendo de outras empresas para produzir ou comercializar seus produtos.

A integração vertical pode ocorrer por via de uma fusão ou aquisição. O objetivo da integração vertical é estratégico e pode justificar-se por uma série de razões: sinergias, controle das cadeias de distribuição ou proximidade ao mercado.

Os fornecedores podem exercer poder de negociação sobre os participantes de uma indústria, elevando os preços ou diminuindo a qualidade dos bens e serviços fornecidos, reduzindo inclusive a disponibilidade do bem ou mudando as condições de entrega. Quando os fornecedores são poderosos, eles podem diminuir consideravelmente a rentabilidade de uma indústria, tornando-a incapaz de repassar os aumentos de custos a seus próprios preços. Além disso, um fornecedor poderoso, operando em múltiplos mercados, inclusive ofertando produtos substitutos, pode restringir o desenvolvimento de uma indústria. Isso pode ocorrer porque os fornecedores também procuram maximizar seus lucros, que podem, eventualmente, estar associados aos produtos substitutos.

O poder de negociação depende do tipo de fornecedor, o qual será considerado como fornecedor de tecnologia, matérias-primas e insumos. Quanto aos fornecedores de tecnologia, relacionados principalmente com produtos vegetais, tecnologia de processo, peças sobressalentes e equipamentos, os mesmos têm uma potência média de negociação, devido à sua especialização. Em termos de insumos e matérias-primas, o poder de negociação depende do nível de integração das empresas. Por exemplo, aqueles que possuem terras precisam de fertilizantes, inseticidas e sementes oleaginosas para o seu crescimento. A água é um insumo essencial para a agricultura, no entanto, dependendo do local de cultura, costa, montanhas ou a selva, sua obtenção torna-se crítica. Assim, esses fornecedores representam um poder médio de barganha, pois geralmente o equipamento deve ter uma longa duração e ademais existe uma

diversidade de produtores de matéria-prima desde pequenos agricultores até as grandes companhias envolvidas com o setor de agronegócio, embora que um processo de integração vertical direciona ao fortalecimento no poder de negociação dos fornecedores de matérias-primas.

5.2.4 Ameaça de produtos substitutos.

Todas as empresas em uma indústria estão competindo, em termos amplos, com empresas de outras indústrias que fabricam produtos similares. Os substitutos reduzem os retornos potenciais de uma indústria, colocando um valor máximo nos preços que as empresas podem vendê-lo com lucro. Quanto mais atrativa a alternativa de preço-desempenho oferecida pelos produtos substitutos, mais firme será a pressão sobre os lucros da indústria. Os substitutos em uma indústria são produtos, serviços ou soluções, que não seriam escolhidos naturalmente, mas que acabam sendo priorizados frente a ausência de atendimento dos requisitos de qualidade ou de preço dos produtos, serviços ou soluções inicialmente desejadas.

Segundo Porter (1986), os produtos substitutos que mais exigem atenção são aqueles que estão sujeitos a tendências de melhoramento de sua relação de preço-desempenho vis-à-vis o produto da indústria, ou são produzidos por indústrias com altos lucros.

Os combustíveis aeronáuticos atuais são classificados em três grupos, quais sejam: a gasolina de aviação (Avgas), o querosene de aviação (Jet Fuel) e o diesel.

AVgas: O tipo de Avgas mais utilizado pelos motores a pistão é o 100LL, ou 100 *low lead*, que contém menor teor de chumbo e menor octanagem do que o 100 e 130 octanas. Quanto mais elevada a octanagem, maior será a capacidade do combustível de ser comprimido, sob altas temperaturas na câmara de combustão, sem que ocorra a detonação. A capacidade antidetonante da Avgas é garantida por um aditivo especial, chamado Etil-fluido. Devido aos problemas de manuseio, a Avgas é evitada em grande parte na aviação comercial, uma vez que contém o chumbo tetraetila que, além de ser tóxico, é cancerígeno (GOMES, 2013).

Querosene: O querosene de aviação é o combustível utilizado nas aeronaves com motores a reação (turbinas). Tem como requisito permanecer líquido e homogêneo até a zona de combustão das aeronaves e apresenta resistência química e física às variações de temperatura e pressão, possuindo boas características lubrificantes, essencial nas altas rotações desenvolvidas por esses motores. A especificação brasileira do QAV-1 é determinada pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), sendo compatível com o *Aviation Fuel Quality*

Requirements for Operated Systems JET A-1 da ASTM International (*American Society for Testing and Materials*) (GOMES, 2013).

Diesel: O diesel é um tipo de combustível derivado da destilação do petróleo bruto constituído basicamente por hidrocarbonetos. É um composto formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio, contendo baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. A sua baixa volatilidade reduz o risco de incêndio e a formação de bolhas de vapor nas linhas de combustível (*vapor lock*), responsável por boa parte dos incidentes de parada ou perda de potência em voo nos motores a gasolina, especialmente em grandes altitudes e subidas rápidas.

Em busca de alternativas sustentáveis, indústria já utiliza diferentes matérias-primas, como a cana-de-açúcar, para substituir ou complementar o atual querosene de aviação com o bioquerosene e etanol (GOMES, 2013).

Etanol: O uso do etanol, principalmente na aviação geral usuária dos motores convencionais, proporciona muitas vantagens, tais como preço inferior ao da gasolina, redução dos índices de poluição por emissão de gases nocivos e manuseio mais seguro que a gasolina. Mesmo a sua adição na gasolina, composta por 10% de etanol e 90% de gasolina, já é capaz de diminuir custos e a poluição produzida quando comparado à gasolina sem adição do mesmo. Suas desvantagens são a baixa produção, uma vez que necessita de certo tempo de colheita e grandes extensões de terra, a emissão de aldeídos e baixa densidade de energia (GOMES, 2013).

Bioqueresene: Para a grande aviação comercial, o bioquerosene torna-se uma alternativa bastante viável, uma vez que possui um poder calorífico igual ao seu equivalente derivado de petróleo e reduz consideravelmente as emissões de gases de efeito estufa, alcançando 3,896 níveis similares ao do etanol. No entanto, o biocombustível ainda é significativamente mais caro (GOMES, 2013; BOEING, 2013).

Diesel verde: O diesel verde apresenta uma estrutura molecular diferente em relação ao biodiesel, que confere maior densidade energética, e obtém maior eficiência de propulsão. Em consequência, cientistas da Boeing comprovaram que o mesmo pode ser usado para mover aviões: a empresa já está negociando com a Administração Federal de Aviação dos EUA uma autorização para utilizar o diesel verde em sua frota. Um dos argumentos é ecológico, pois o diesel verde emite em torno de 50% menos de dióxido de carbono que os combustíveis fósseis. Segundo cálculos da Boeing, atualmente a capacidade instalada de produção do diesel verde no

mundo é capaz de suprir apenas 1% da demanda por combustível da aviação global, equivalente a 600 milhões de galões.

Outra vantagem competitiva do diesel verde, segundo seus fabricantes, está no fato de poder ser distribuído através dos dutos de petróleo já existentes, enquanto o biodiesel comum requer transporte rodoviário ou ferroviário. Além disso, o diesel verde não é afetado por baixas temperaturas, que poderiam prejudicar seu fluxo de distribuição, nem se adensa com o frio, como pode ocorrer com o biodiesel. Como é produzido com materiais orgânicos reciclados, que iriam simplesmente para o lixo, o diesel verde também não requer áreas de cultivo, como o etanol de milho, ainda muito usado no país (ÉPOCA, 2014).

Enquanto existe uma considerável incerteza sobre o futuro do preço do combustível de aviação convencional, geralmente há uma tendência de crescimento dos preços nas próximas décadas devido ao aumento da demanda global do petróleo. As projeções da EIA (Energy Information Administration) estimam um aumento no preço do combustível de aviação nos próximos trinta anos. Neste panorama, o alto preço do combustível de aviação torna-se US $ 5/gal. em 2040, (em 2012 dólares EUA) e o preço baixo em torno de US $ 2/gal. O preço médio local do combustível de aviação nos EUA para 2013 foi de US $ 3,05/gal., embora para novembro de 2014 os preços à vista foram aproximadamente de US $2.25/gal. (IATA, 2014).

Atualmente, os combustíveis de jato alternativos são produzidos em pequenas quantidades, em comparação com os combustíveis do petróleo e etanol de milho. Entre 2007 e 2012, os militares dos EUA adquiriram 1,9 milhões de galões de combustível de aviação por meio de sua agência de compras *DLA Energy*, a qual fornece dados confiáveis sobre os preços de compra reais dos biocombustíveis.

Os combustíveis HRJ/HEFA são produzidos por Ésteres e Ácidos Graxos hidroprocessados, tais como: comestíveis (soja, canola) e não comestíveis (camelina, pinhão manso) óleos vegetais, óleo de algas, gordura amarela (óleo de cozinha usado) e sebo (gorduras processadas de animais). O preço máximo de US $149/gal. corresponde ao combustível produzido a partir de óleo de algas. Entre 2007 e 2012, os militares EUA obtiveram 1 milhão de litros de HRJ / HEFA combustível de aviação a um preço médio de US $ 10,04 / L (US $38/gal.) (IATA, 2014).

O combustível de jato Fischer-Tropsch (FT) é derivado a partir da gaseificação de matérias-primas carbonadas e a posterior conversão e modernização de gás de síntese em combustíveis líquidos, mediante um processo catalítico. Os militares EUA compraram 730.000 galões de combustível de aviação FT a um preço médio de US $ 0,99/L ($ 3.76/gal.), embora

não oriundos de matérias-primas renováveis. Cabe ressaltar que, a diferença de custo de combustível de aviação convencional na contratação do DLA é a mais baixa para combustível de jato FT (IATA, 2014).

Os processos de álcool-a-jato (ATJ) utilizam álcoois commodities (etanol, butanol) como plataforma de moléculas para a oligomerização ou reações de síntese catalíticas. Os álcoois podem também ser produzidos a partir de biomassa, mediante os processos de fermentação. Até o presente momento, menos de 378.500 L (100.000 galões) de ATJ foram comprados pelos militares dos EUA a partir de um único fornecedor, a um preço de US $ 15,59 / L (US $ 59/gal.) (IATA, 2014).

A via de processamento de açúcar direto a hidrocarboneto (DSH) depende de micro-organismos geneticamente modificados (OGM) que fermentam açúcares e produzem componentes do combustível hidrocarboneto, em oposição aos álcoois, que são adaptados em um processo separado. Os registros mostram que a *DLA energy* foi contratada por 163.755 L (43.000 galões) de combustível de jato DSH por um preço de US $ 6,80 / L ($ 25,73/gal.) (IATA, 2014).

Os mercados competitivos devem conduzir à diminuição dos preços de venda com o decorrer do tempo. Entre as tecnologias de combustíveis alternativos considerados no presente trabalho, FT é o mais maduro, tendo sido usado por décadas com carvão (Sasol) e por vários anos com gás natural (Shell). A gaseificação da biomassa é amplamente baseada em uma tecnologia madura de gaseificação do carvão, embora os métodos de tratamento específico da biomassa adicional ainda estão em fase de desenvolvimento e pesquisa (P&D). Em suma, a ameaça de produtos substitutos estabelecidos é alta porque existe uma estabilidade no mercado dos biocombustíveis de aviação, os quais já são utilizados.

5.2.5 Rivalidade dos Competidores Existentes

A força de intensidade da rivalidade refere-se ao nível de competição dentro do próprio setor, que é moldado pela concorrência entre os competidores, mas também pelo regulatório vigente. Segundo Porter (1986), a competição tende a ser mais intensa em um setor no qual o número de empresas é elevado, por ser mais difícil a formação de oligopólios.

A sustentabilidade de um biocombustível de aviação deve ser comprovada por análises de ciclos de vida, demonstrando balanço de energia elevado; emissões de carbono bem menores que os paradigmas do *Jet Fuel*; compatibilidade com outros usos da terra; e inserção em um

modelo de desenvolvimento equilibrado, com geração de renda igualmente distribuída entre os atores da cadeia.

O preço do biocombustível tem como referencial os *Jet Fuel* derivados de petróleo, mesmo com a busca por reduzir emissões de gases de efeito estufa. Logo, a pressão setorial sobre os institutos de P&D e sobre a cadeia de biocombustíveis será cada vez mais forte, porque a indústria aeronáutica também estará pressionada por um sistema competitivo de compressão de custos (GAZZONI, 2012).

É importante ressaltar que os biocombustíveis em geral são uma *Commodity*, os produtos e empresas do setor estão competindo, basicamente, por preço e, aqueles que possuem maior nível de integração são aqueles que podem oferecer os preços mais competitivos. Ou seja, o proprietário de uma terra adequada e necessária, tecnologias avançadas de produção e gestão de melhores rendimentos normalmente são os que detêm maior poder no mercado. No Quadro 14 apresenta-se a capacidade de produção de diesel renovável em algumas empresas.

Quadro 14. Produção de diesel renovável em algumas empresas.

Nome	Proprietário	Localização	Matéria-prima	Tecnologia	Capacidade	Inicio
Singapore Biorefinery	Neste	Tuas Industrial Area, Singapura	Óleo vegetal e gorduras animais residuais	NEXBTL (desenvolvido por Neste)	1 milhão de toneladas por ano	2010
Norco Biorefinery	Diamond Green diesel	Norco, Louisiana (USA)	Óleos vegetais não comestíveis e gorduras animais	Ecofining (desenvolvido por Eni e UOP)	500000 toneladas por ano	2013
Venice Biorefinery	Eni	Porto Marguera, Venecia Itália	Óleos vegetais, gorduras animais e óleos usados de cozinha	Ecofining (desenvolvido por Eni e UOP)	300000 toneladas por ano	2014
Rotterdam Biorefinery	Neste	Rotterdam (Holanda)	Óleo vegetal e gorduras animais residuais	NEXBTL (desenvolvido por Neste)	1 milhão de toneladas por ano	2011

Fonte: Biorefineries (2015)

A principal empresa produtora do diesel verde no mundo até o momento é *The Neste Oyj* e, existem outras companhias com projetos em desenvolvimento como UOP, Amyris, Solazyme, Eni entre outras (MORAN, 2015).

A rivalidade de competidores existentes é média devido a que a indústria da produção do diesel verde está em processo de estruturação, portanto ainda não são estabelecidas as empresas para a quantidade de biocombustível adquirido no mercado, além do alto nível das barreiras de entrada. Atualmente, a Neste Oyj está liderando a produção deste biocombustível. As outras companhias estão desenvolvendo projetos em parcerias ou com menor produção até o momento. A seguir, estão apresentadas as forças complementares que influenciam as forças já existentes:

5.2.6 Forças complementares

5.2.6.1 Influência regulatória

As políticas de biocombustíveis de longo prazo, que integram os combustíveis em todas as modalidades de transporte motorizado e reconhecem a necessidade particular da aviação de alternativas sustentáveis de combustível, devem ser estabelecidas a fim de tornar o biocombustível para aviação economicamente viável, em razão do custo adicional para se produzir um combustível "*drop-in*" que cumpra as estritas exigências aeronáuticas. Políticas públicas são fundamentais para desenvolver a tecnologia agroindustrial de biocombustíveis para a aviação, assim como será necessário implementar também medidas regulatórias e financeiras para respaldar a produção e o uso de biocombustíveis para a aviação.

Além das abordagens voluntárias e do monitoramento global, os Estados podem impor requisitos obrigatórios por intermédio de regulamentos para garantir o desenvolvimento sustentável de combustíveis alternativos. Alguns Estados ou instituições supranacionais já definiram tais regulamentos. Os exemplos existentes não impedem a obtenção de produtos não sustentáveis, mas fomentam a produção de produtos sustentáveis, tornando-os elegíveis para apoiar medidas e incentivos apenas se os requisitos de sustentabilidade forem cumpridos. Também é válido permitir que somente produtos compatíveis sejam qualificados para o cumprimento de metas nacionais para o desenvolvimento de energia renovável.

Em comparação com padrões voluntários, vários exemplos de regulamentos que tratam de um escopo reduzido de requisitos de sustentabilidade existem atualmente:

- No Brasil, os regulamentos incluem um conjunto de requisitos ambientais e sociais a serem aplicados para a produção de biocombustíveis domésticos.
- A Diretiva Europeia de Energias Renováveis (RED) define limites para emissões reduzidas e exclui a matéria-prima obtida de terras com alta biodiversidade ou altos estoques de carbono.
- A RED aplica-se a ambos biocombustíveis produzidos internamente e importados. A produção nacional também está sujeita a requisitos adicionais relacionados com implementação de práticas agrícolas que estejam em conformidade com a Política Agrícola Comum (PAC). Como mencionado, a RED introduz a obrigação aos Estados em monitorar os impactos e, a Comissão Europeia a apresentar um relatório sobre os aspectos sociais, os impactos sobre os mercados de alimentos e outros impactos indiretos da política de biocombustíveis.
- A *U.S. Renewable Fuel Standard* (RFS) estabelece requisitos para a redução das emissões de GEE, a fim de qualificar-se para diferentes categorias de biocombustíveis e limita a matéria-prima que pode qualificar-se como "biomassa renovável" para certos tipos de biomassa colhida em determinados tipos de terras.

Ao impor requisitos de sustentabilidade são exigidos meios associados para garantir o seu cumprimento. Por exemplo, a RED exige uma auditoria independente das informações fornecidas como prova de conformidade. Esta auditoria pode ser conduzida por meio de um sistema nacional, fundamentada na certificação da declaração do operador por organizações como a *Bureau Veritas* ou *SGS Internacional Certification Services*. Outra possibilidade é por meio de padrões de sustentabilidade voluntários e sistemas de certificação, reconhecidos pela Comissão Europeia, que implica na realização de um escopo mais amplo de critérios de sustentabilidade do que os estritamente aplicados pelo regulamento da UE. Para os países terceiros, o reconhecimento por meio de acordos bilaterais ou multilaterais celebrados com a UE também é oferecido (ICAO, 2014).

O Brasil está excepcionalmente bem posicionado para promover um programa de biocombustíveis para a aviação, com metas claras e mecanismos de apoio e com a participação de todas as partes interessadas. Dessa forma, as políticas também deveriam habilitar a participação de pequenos agricultores e/ou comunidades locais na cadeia de produção de

biocombustíveis para aviação para que eles também possam se beneficiar dessa nova indústria (PLANO DE VOO, 2013).

5.2.6.2 Empresas Complementares

Existem algumas empresas que participam de forma indireta como membros associados na produção de biocombustíveis de aviação. Entre estas empresas encontram-se:

BOEING

A empresa Boeing vem desempenhando um papel de liderança significativo por estimular tecnologia e inovação como apoio de estratégia industrial para:

• Melhorar o desempenho dos aviões atuais e introdução de novos aviões, como o 787 Dreamliner, 747-8 e 737 MAX, que são significativamente mais eficientes do que os aviões que os substituem.

• Buscar uma maior eficiência mediante operações aéreas melhoradas e defender para a modernização da infraestrutura global do sistema de gestão do tráfego aéreo.

•. Defender a comercialização de combustíveis de aviação sustentáveis que tenham ciclo de vida menor que 50% de emissões de dióxido de carbono, em relação aos combustíveis convencionais (BOEING, 2013).

AIRBUS

O grupo Airbus, com sede em Toulouse, França, é líder mundial na fabricação de aviões comerciais, líder europeu no desenvolvimento de programas espaciais e líder mundial na produção de helicópteros para uso civil.

A empresa Airbus usa o conhecimento local para identificar a melhor fonte de combustível para cada país, ajudando a aproximar os agricultores, as refinarias, governos e companhias aéreas. Os agricultores são incentivados a utilizar terras não aráveis com a certeza de que a safra vai ser comprada pelos refinadores. Os programas já foram estabelecidos no Brasil, Qatar, Romênia, Espanha e Austrália. A empresa Airbus também fez uma parceria com a Universidade de Tsinghua da China e com a China Petroleum and Chemical Corporation (Sinopec) para explorar fontes de combustível, desenvolver uma cadeia de valor e produzir um combustível de aviação certificada para o país, cujo mercado de aviões é um dos que mais cresce

no mundo. Atualmente, os pesquisadores no Brasil estão trabalhando em um biocombustível de jato feito a partir da Jatropha, sendo cultivadas 4.000 hectares para a sua produção.

A empresa Airbus também se uniu com a Virgin Australia Airlines para apoiar o cultivo de eucalipto na Austrália, enquanto em Espanha, a empresa está apoiando o desenvolvimento de 2.000 hectares de camelina para combustível de aviação. Além disso, a Airbus está endossando uma iniciativa no Qatar para transformar microalgas em uma fonte sustentável. Numerosos testes já foram realizados utilizando estes combustíveis. A Airbus espera que esses combustíveis de aviação sustentáveis possam fornecer até um terço de todo o combustível de jato de aviação comercial em 2030, se as fontes podem ser produzidas em quantidades suficientes (AIRBUS, 2016).

EMBRAER

A empresa Embraer é um conglomerado brasileiro que produz aviões comerciais executivos, agrícolas e militares. A empresa tem sede na cidade de São José dos Campos, interior do estado de São Paulo, e possui diversas unidades no Brasil e no exterior, inclusive joint ventures na China e em Portugal.

Com uma receita líquida de R$12,2 bilhões (US$ 6,1 bilhões) em 2012, passou à quarta posição mundial no setor, abaixo da principal concorrente, a canadense Bombardier (que encerrou 2012 com um faturamento de US$8,6 bilhões), da Airbus e da Boeing. Essa queda para a quarta posição foi uma decisão estratégica da empresa, que optou por reduzir a atuação no mercado de aeronaves comerciais (onde há maior concorrência internacional) e ampliar seu mercado na linha executiva e defesa. Essa mudança de estratégia levou a Embraer a ser, em 2012, a empresa que mais cresceu, entre as maiores exportadoras brasileiras (17,6% em relação a 2011).

A empresa EMBRAER colaborou com diversas iniciativas voltadas à produção de um biocombustível de aviação economicamente viável e que atenda os rígidos requisitos da indústria. Em 2011, a EMBRAER e a GE (General Electric), fabricante de motores, concluíram testes de voos sob uma ampla variedade de condições com um E170 movido a ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA). No ano seguinte, um E195 da companhia aérea AZUL voou durante o congresso Rio+20 utilizando bioquerosene à base de cana de açúcar desenvolvido pela Amyris.

Estudos mostram que biocombustíveis sustentáveis para a aviação emitem uma quantidade menor de carbono, de 50% a 80% inferior, ao longo de seu ciclo de vida do que o combustível de aviação fóssil. Mais de 1.600 voos comerciais com uso de biocombustível de

aviação já foram operados em todo o mundo desde 2011, quando o uso desse tipo de combustível foi aprovado.

A colaboração da BOEING com a EMBRAER na área de biocombustíveis é liderada pela Boeing Pesquisa e Tecnologia Brasil (BR&T-Brasil), um dos seis centros internacionais de pesquisa avançada da Boeing. O BR&T-Brasil trabalha com a comunidade brasileira de pesquisa e desenvolvimento para expandir as capacidades e cumprir as metas econômicas e de desenvolvimento tecnológico do país e, ao mesmo tempo, apoiar a criação de tecnologias inovadoras e de custo acessível para as unidades de negócio da BOEING. Além dessa colaboração no Brasil, a BOEING possui projetos ativos de desenvolvimento de biocombustíveis nos Estados Unidos, Oriente Médio, África, Europa, China, Japão, sudeste asiático e Austrália.

O Centro Conjunto de Pesquisa BOEING - EMBRAER é o mais recente de uma série de esforços colaborativos realizados por essa empresas e parceiros brasileiros na área de biocombustíveis sustentáveis para a aviação. Juntas, BOEING, EMBRAER, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) promoveram uma série de workshops no Brasil entre 2012 e 2013 e, em 2014, publicaram um estudo detalhado – chamado Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil, que identificou as lacunas que desafiavam o estabelecimento dessa indústria (DEFESANET, 2015).

O resultado da análise das cinco forças de *Porter* para a indústria do diesel verde é apresentado na Figura 35.

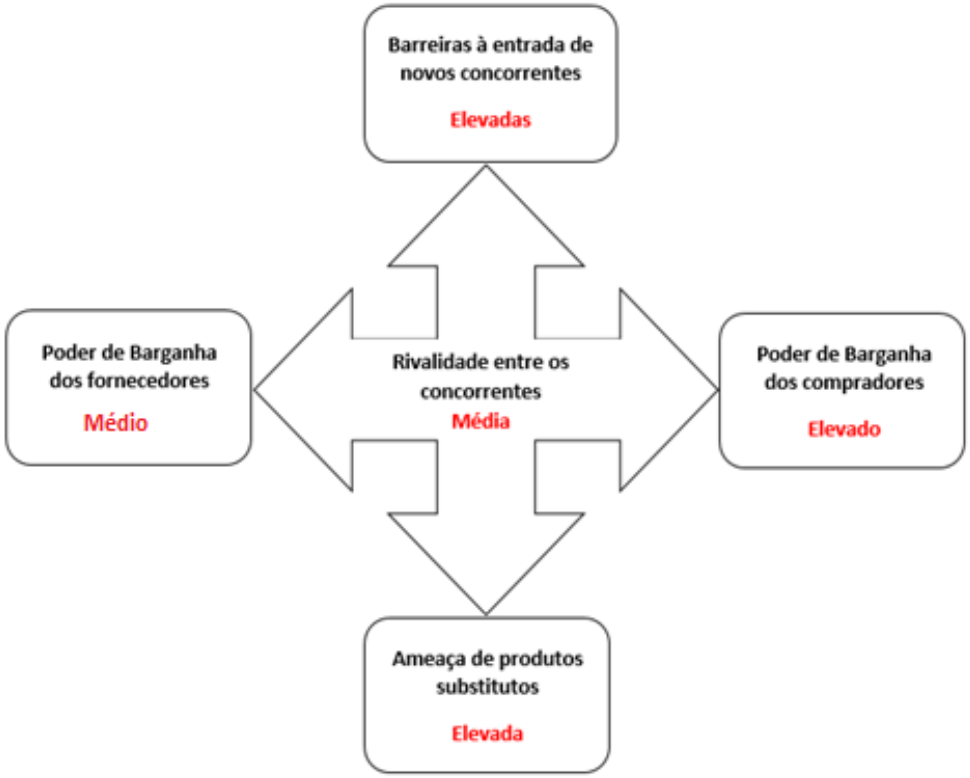


Figura 35. Análise das forças de Porter na Indústria do diesel verde.

5.3 Considerações Finais

Inicialmente, o elevado nível das barreiras de entrada deve-se à complexidade nas tecnologias de produção desse biocombustível, corroborando a importância da optimização dos processos convencionais como o hidrotratamento e hidroprocessamento, tanto na avaliação das suas correspondentes reações como no pré-tratamento da matéria-prima pertinente. Consequentemente, a matéria-prima pode ser considerada como outra barreira de entrada devido a sua difícil manipulação, como no caso das algas, as quais sobressaem no estudo prospectivo. Sendo necessários altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Cabe destacar o nível elevado na ameaça dos produtos substitutos e poder de barganha dos compradores. No primeiro caso, os produtos substitutos já possuem um avanço e estabilidade no mercado atual dos biocombustíveis de aviação, embora o diesel verde tem as qualidades suficientes para ser tornar um produto viável no âmbito econômico, ambiental, social e tecnológico. Em sequência, o poder de barganha dos clientes é elevado devido a que os principais compradores são as companhias aéreas que adquirem grandes volumeis do produto e podem aceder a todas as informações sobre a demanda no mercado.

As forças que mostraram um nível menor foram a rivalidade entre os concorrentes e o poder de barganha dos fornecedores. No primeiro assunto, a produção de diesel verde ainda está incipiente e conjuntamente estão sendo elaboradas pesquisas para otimizar o processo de obtenção. Consequentemente, existe uma diversificação dos fornecedores de matéria-prima, insumos, tecnologia e, portanto, se torna difícil uma negociação dependo do modelo de negócios a ser estudado.

No panorama das exigências respeito ao combustível renovável de aviação surgem algumas forças complementares, tal como a influência regulatória, a qual está diretamente relacionada com a qualidade e viabilidade do produto. De esta forma, se explica a preocupação dos pesquisadores e produtores na avaliação dos diferentes critérios técnicos, econômicos entre outros, como foi exposto no estudo prospectivo.

Finalmente, a indústria do diesel verde no setor de aviação é uma alternativa competitiva em relação a outros biocombustíveis de aviação, devido a seu elevado desenvolvimento nas tecnologias de obtenção e, consequentemente a sua capacidade de produção que vai aumentando promissivamente.

CAPITULO 6

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Considerações Finais

A partir do estudo realizado, pode-se vislumbrar algumas das mudanças que poderiam ser introduzidas nos níveis técnico, econômico e político para acelerar o processo de uso do diesel verde na matriz de biocombustíveis são:

- Nível técnico: O grande desafio é desenvolver a produção dos biocombustíveis em larga escala e comercializar matérias-primas que podem ser cultivadas de forma sustentável, a preços competitivos. O aperfeiçoamento e a ampliação da cadeia de suprimentos e de distribuição irão gerar também uma redução significativa nos custos.
- Nível econômico: As políticas de apoio são fundamentais para impulsionar a indústria de biocombustíveis, atrair investimentos, acelerar o crescimento da indústria e fornecer benefícios no longo prazo da economia. Como acontece com qualquer fonte nova de energia, o apoio político é fundamental nos primeiros anos. Não há necessidade de financiamento público permanente, mas sim de concentração de investimentos públicos e apoio político até que a indústria esteja em uma base economicamente competitiva.
- Nível político: A formação de políticas públicas de incentivo pode desempenhar um papel importante na viabilização comercial dos biocombustíveis. No Brasil, as companhias aéreas devem pagardiversas taxas para permitir sua atuação no mercado, tais como: a comunicação, a navegação aérea, o uso dos balcões de check-in, o uso de pistas de pouso e decolagem, o estacionamento dos aviões e o uso de áreas de manutenção. A diminuição dessas taxas na aviação comercial como o incentivo ao uso de biocombustíveis torna-se uma opção viável.

Os principais alinhamentos da agenda de pesquisa sobre a produção do diesel verde no Brasil que o presente estudo recomendaria priorizar são apresentados a seguir:

- ❖ Produção de matérias-primas:
  - Estimular a pesquisa agronômica, particularmente de matérias-primas não tradicionais.
  - Melhorar a infraestrutura logística de transporte de matérias-primas.
  - Estabelecer áreas experimentais que gerem dados de longo prazo.
- ❖ Tecnologias de refino
  - Criar plantas-piloto para as alternativas mais promissórias.
  - Implantar unidades de demonstração e comercialização de projetos originais.
- ❖ Logística e certificação de biocombustível
  - Preparar o conjunto de regulamentos brasileiros.
  - Desenvolver a certificação de biocombustível para aviação.
  - Organizar um plano estratégico para produção e distribuição de biocombustível.
- ❖ Políticas
  - Acompanhar, procurar e antecipar medidas regulatórias de ICAO.
  - Estabelecer ou regulamentar critérios de sustentabilidade.
  - Estabelecer políticas para incluir pequenos agricultores na cadeia de produção.

6.2 Conclusões

Destacam-se a seguir as principais conclusões que decorrem das análises propostas e desenvolvidas no presente estudo:

- A metodologia adotada para realizar a análise das tendências da cadeia produtiva de diesel verde, mediante a análise de artigos científicos e patentes, foi uma ferramenta eficiente para a informação atual em torno desse biocombustível, devido à utilidade do conjunto de conceitos e técnicas utilizadas para se antever o comportamento das variáveis sócio-econômicas, políticas e tecnológicas, bem como o efeito de suas interações.
- Em relação a análise das tendências mediante o estudo prospectivo do diesel verde foram encontrados os sequintes resultados:

  - ✓ Os Estados Unidos estão liderando as pesquisas em relação à produção de diesel verde. A Finlândia e a Itália estão em fase de desenvolvimento avançado em suas pesquisas, apresentando patentes concedidas e solicitadas com significativa relevância.

Adicionalmente, a China e o Brasil demonstram um ligeiro crescimento na pesquisa e considerável quantidade de artigos científicos identificados.

- ✓ A empresa UOP LLC dos Estados Unidos possui a maior quantidade de documentos (artigos científicos, patentes concedidas e solicitadas), enquanto a empresa Solazyme vem galgando uma relevante participação no campo das patentes em relação ao uso de Micro-organismos usados na produção de diesel verde. As empresas Neste Oyj da Finlândia e a Eni S.P.A da Itália também vem apresentando papel importante no depósito de patentes.
- ✓ As taxonomias mais relevantes em todos os documentos foram a Matéria-prima e o Processo de produção.
- ✓ A Matéria-prima com maior destaque nos documentos analisados foi a biomassa algal.
- ✓ Os processos associados à produção do diesel petroquímico foram os mais citados em todos os documentos, devido à vantagem na produção de diesel verde na infraestrutura de uma refinaria convencional.

- A análise das tendências da cadeia produtiva de diesel verde permitiu a criação de diferentes cenários, mostrando as oportunidades e desafios das diferentes rotas tecnológicas encontradas no estudo.
- O processo de introdução de combustíveis renováveis na aviação tem passado por vários inconvenientes o que tem demorado ou ganhado resistência para sua adoção definitiva, como foi observado na análise estruturalda indústria do diesel verde através das Forças de Porter.
- O desenvolvimento tecnológico da produção e distribuição do diesel verde e a produção em escala comercial, em conjunto aos incentivos públicos, originarão oportunidades relevantes para viabilizar a alternativa. Com isso, o setor poderá ter maior estabilidade com a redução da dependência do petróleo e poderá atingir as metas de redução de emissões, além de proporcionar o desenvolvimento socioeconômico.

6.3 Recomendações

Tendo em vista os impactos na adoção de critérios de produção sustentável de diesel verde no setor da aviação e a necessidade de assegurar a sustentabilidade da sua cadeia produtiva, sugere-se para estudos posteriores:

- Elaboração de um roadmap tecnológico, que permita observar mais detalhadamente as diferentes tendências tecnológicas a curto, médio e longo prazo em relação ao mercado, produto e tecnologia e avaliar o perfil dos diferentes *players* envolvidos.

- A análise estrutural da indústria do diesel verde foi elaborada por médio da metodologia das Forças de Porter. Esse modelo supõe que o desempenho econômico das firmas é o resultado direto de seu comportamento concorrencial em termos de fixação de preços e custos e que esse comportamento depende da estrutura da indústria na qual as firmas estão inseridas. Sendo a indústria a unidade de análise, a firma é colocada em segunda dimensão e vista como um conjunto de atividades organizadas. No entanto nem todas as indústrias segue essa homogeneidade na sua população de empresas.

  Por conseguinte, é importante desenvolver um tipo de visão estratégica de "dentro para fora" que permite estudar as organizações em si, pois dentro de um mesmo setor as firmas podem ser heterogêneas no que diz respeito aos recursos estratégicos. Uma ferramenta útil nesse assunto seria uma abordagem RBV (Visão Baseada em Recursos).

REFERÊNCIAS

ABIDEEN Z, ANSARI R, GUL B, KHAN MA. The place of halophytes in Pakistan's biofuel industry. Biofuels, 3:211–20, 2012.

ABRABA, 2011. Disponível em <http://www.abraba.com.br/pt-BR/Paginas/home.aspx>. Acessado em junho de 2015.

AIRBUS, Sustainable Aviation Fuel, 2016. Disponível em <http://www.airbus.com/innovation/future-by-airbus>. Acessado em fevereiro de 2016.

ÅKERMAN, J. Sustainable air transport—on track in 2050. Transportation Research. 10: 111–26, 2005.

ALMEIDA, C. Mapa estratégico para a agroindústria sucroalcooleira através do uso de balanced scorecard. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. EQ/ UFRJ – UNIMINAS, 2009.

ALTERNATIVE FUELS FOREWORD. International Air Transport Association, IATA, report on alternative fuels, 2009.

ALVES, S. Projeto Da Gol Linhas Aéreas Aposta Na Macaúba Para Fortalecer Plataforma Mineira De Bioquerosene, 2015.

ANAC, Demanda e Oferta de Transporte Aéreo. Empresas Brasileiras. Dezembro, 2015.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis, 2012.

ARKOUDEAS, P.; KALLIGEROS, S.; ZANNIKOS, F.; ANASTOPOULOS, G.; KARONIS, D.; KORRES, D.; LOIS, E. Study of using JP-8 aviation fuel and biodiesel in CI engines. Energy Conversion and Management. 44: 1013-25, 2003.

ASTM, 2009a. D1655-09, Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. ASTM International: West Conshohocken, Pennsylvania. Asof April 2, 2010.

ASTM, 2009b. D7566-09, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons. ASTM International: West Conshohocken, Pennsylvania. Asof April 2, 2010.

BARNEY, J. B.; HESTERLY, W. S. Administração Estratégica e Vantagem Competitiva; tradução de Mônica Rosemberg; revisão técnica de Pedro Zanni – São paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BEGINNER'S GUIDE TO AVIATION BIOFUELS, Air Transpot Action Group, maio 2009.

BEZERGIANNI E., DIMITRIADIS A. Comparison between different types of renewable diesel, Renewable and Sustainable Energy Reviews 21, 2013.

BIELLO D., Scientific American Brasil, combustível verde pode substituir petróleo em avioes, 2015.

BIODIESELBR. Cresce frota de ônibus movida a diesel de cana em São Paulo, 2013.

BIOFUELSdigest, Solazyme: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide, 2014. Disponível em <http://www.biofuelsdigest.com/>. Accesado em fevereiro de 2016.

BIOREFINERIES and green chemistry blog / Blog sobre biorrefinerías y química sostenible Biorrefinerías de Aceites Vegetales Hidrotatados (HVO) – El auge del diésel renovable, 2015.

BOEING, Current Market Outlook. Disponível em <http://www.boeing.com.br/.2013>, 2013, Accesado em dezembro de 2015.

BORSCHIVER S., LEMOS A. Technology roadmap-planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia. Brasil: Editora Interciência. No prelo (2016).

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Resolução ANP n° 20, de 24.06.2013. Regulamenta as especificações dos Querosenes de Aviação Alternativos e suas misturas com o Querosene de Aviação (QAV-1). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de junho de 2013.

BRASIL-HOLANDA <http://www.biodieselbr.com/noticias/biocombustivel/bioqav/programa-cooperacao-brasil-holanda>. Acesso em dezembro de 2015.

BRUM M. C.; SANTOS, L. S.; SANTOS, R. B.; LACERDA JR., V.; GRECO S. J.; CASTRO E. V. R. Biodiesel da Munguba (Pachira aquatica Aubl.): Síntese e Avaliação da Presença de Ácidos Graxos Ciclopropenoídicos. 32a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009.

CALIFORNIA Renewable Diesel Multimedia Evaluation, *Renewable Diesel Multimedia Evaluation*, The University of California, Dezembro, 2010.

CANO, Y. "Viabilidad de los Biocombustibles: Biodiesel y Bioetanol", Programa de Doctorado Ciencia e Ingeniería Agrarias, Universidad de Castilla – La Mancha, 2009.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Ciência, Tecnologia e Inovação. Biocombustíveis Aeronáuticos. Progressos e desafios. Brasília, 2010.

CHOUDHARY T.V; PHILLIPS C.B. Renewable fuels via catalytic hydrodeoxygenation. Applied Catalysis A: General, 2011.

CRUS, F. Produção de hidrogênio em refinarias de petróleo: avaliação exergética e custo de produção. Escola politécnica. Universidade de São Paulo, 2010.

DEFESANET, EMBRAER e BOEING em Biocombustíveis, <http://www.defesanet.com.br/embraer/noticia/>. Acessado em fevereiro de 2016.

DEMIRBAS, M.F. Current technologies for biomass conversion into chemicals and fuels. Energy Sour Part A. 28:118-8, 2006.

DIESELNUTZ, Diesel: futuro promissor na aviação, 2015.

DU PREEZ, G. T.; CARL, W. I. P. Technological threat and opportunity assessment. New York: Elsevier Science, p. 215-234. (Technological Forecasting and Social Change, 61), 1999.

ENI, Green Refinery, 2014.

ENVIRO.AERO. Beginner's Guide to Aviation Biofuels. Edition 2, 2011.

EMBRAPA. Licuri Syagrus coronata (Mart.) Becc. Documentos online. 199, 2007.

ÉPOCA Negócios, Diesel verde ganha espaço nos estados unidos, revista, 2014.

FILOMENA, P.; VARELA, F.T.; GONCALVES, M.; ANDRE, R.N.; COSTA, P.; MENDES, B. Production of bio-hydrocarbons by hydrotreating of pomace oil. Fuel. 116: 84–93, 2014.

FREIRE G. Aviation biofuels development. ICAO aviation and sustainable alternative fuels workshop, 2011.

FUELS FOR THE AVIATION INDUSTRY. Disponível em ⟨http://www.ifpenergiesnouvelles.com⟩. Acessado em julho, 2015.

GAZZONI, D. Engenheiro Agrônomo, pesquisador da Embrapa Soja. Biocombustíveis para aviação, 2012.

GHEMAWAT, P. A estratégia e o cenário dos negócios: textos e casos. Porto Alegre: Bookmam, 2000.

GOMES, L. Motores e combustíveis de aviação. O impacto do abastecimento no transporte aéreo e a busca por alternativas ao Jet Fuel e à Avgas. Aero Magazine, 2013.

GREEN GROWTH AND THE FUTURE OF AVIATION. Paper prepared for the 27th Round Table on Sustainable Development to be held at OECD Headquarters, 2012.

GROWING AMERICA'S ENERGY FUTURE: renewable bioenergy, biomass program. Energy efficiency and renewable energy, 2010.

GRUMBACH, R.J.: Prospectiva – Ciência do Futuro: a chave para o planejamento estratégico. Ed. Catau. Rio de Janeiro, 1997.

HEMIGHAUS, G.; BOVAL, T.; BOSLEY, C.; ORGAN, R.; LIND, J.; BROUETTE, R.; THOMPSON, T.; LYNCH, J.; JONES, J. Alternative Jet Fuels. Aviation Fuels Technical Review. Chevron Corporation, 2006.

HAMELINCK C, CUIJPERS M, SPOETTLE M, VAN DEN BOS A. Biofuels for aviation. ECOFYS Netherlands, 2013.

HERRERAS Y, STERN V, CAPUANO A. Sustainable raw material production for the aviation industry. Environ Rep, 168–71, 2010.

HILBERS T. et al., Green Diesel from Hydrotreated Vegetable Oil Process Design Study, Chem. Eng. Technol 38, No. 4, 651–657, 1996.

HILEMAN J.I., STRATTON R.W. Alternative jet fuel feasibility. Transport Policy, 2014.

HONEYWELL UOP, Honeywell Green Jet Fuel™, 2016.

HORNE PA, WILLIAMS PT. Influence of temperature on the products from the flash pyrolysis of biomass. Fuel 75: 1051–7, 1996.

IATA report on alternative fuels. International Air Transport Association. 6th ed., 2011.

IATA, International Air Transport Association. Global Aviation and the Fuel Costs, apresentado por Oliveira, L.F., durante o Seminário Internacional de Combustíveis de

AVIAÇÃO–ANP. Disponível online em <http://www.anp.gov.br/?pg=60724>. Rio de Janeiro, April, 2012.

ICAO aviation and sustainable alternative fuels; Bio aviation fuel stock supply-challenges, strategies and recent developments, 2011.

ICAO, fevereiro 2014.

KARGBO DM. Biodiesel production from municipal sewage sludges. Energy Fuels 24:2791–4, 2010.

KIM S., et al., Production of renewable diesel by hydrotreatment of soybean oil: Effect of reaction parameters, Chemical Engineering Journal, 228, 114–123, 2010.

KNOTHE, g. Biodiesel and renewable diesel: A comparsion. Progress in energy and combustion science, v. 36, p. (364-373), 2009.

KORRES, D.M.; KARONIS, D.; LOIS, E.; LINCK, M.B.; GUPTA, A.K. Aviation fuel JP-5 and biodiesel on a diesel engine. Fuel. 87: 70-8, 2008.

KUBICKOVA I, KUBICKA D. Utilization of triglycerides and related feedstocks for production of clean hydrocarbon fuels and petrochemicals: a review. Waste Biomass Valoriz 1(3):293–308, 2010.

LEGRAND; CATHERINE; et al. Method for Recovering Lipids from a Microorganism, United States Patent Application, USPTO-USPTO Patent Full-Text and Image Database (PatFT), Junho 2014.

LLAMAS, A.; AL-LAL, A.M.; HERNANDEZ, M.; LAPUERTA, M.; CANOIRA, L. Biokerosene from Babassu and Camelina Oils: Production and Properties of Their Blends with Fossil Kerosene. Energy & Fuels. 26: 5968−76, 2012.

MARTIN, B. R.; JOHSTON, R. Technology foresight for wiring up national innovation system: experiences in Britain, Australia and New Zealand. New York: Elsevier Science, p. 37-54. (Technological Forecasting and Social Change, 60), 1999.

MASBI, Midwest Aviation Sustainable Biofuels Iniciative. Fueling a sustainable future for aviation, 2013.

MAURICE, L. Q. et al. Advanced aviation fuels: a look ahead via a historical perspective. Fuel, 80(5), 747 – 756, 2001.

MENGHI, G., et al. Prospecção Tecnología do Diesel Verde, Gestão de Tecnologia e Propriedade Industrial, 2014.

MIKULEC, J.; CVENGROS, J.; JORIKOVA, L.; BANIC, M.; KLEINOVA, A. Second generation diesel fuel from renewable sources. Journal of Cleaner Production. 18: 917-26, 2010.

MILLER, P.; KUMAR, A. Techno-economic assessment of hydrogenation-derived renewable diesel production from canola and camelina. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2014.

MITCHELL, G. R. Global technology policies for economic growth. New York: Elsevier Science, p. 205-214. (Technological Forecasting and Social Change, 60), 1999.

MORAES DE ARAUJO P. Obtenção de Bioquerosene de Aviação “Drop in” por Pirólise Rápida e Desoxigenação Catalítica a partir do Licuri (Syagrus coronata), Dissertação de mestrado, Departamento de química, Universidade federal da paraíba, 2014.

MORAN, D. Biorrefinerías de Aceites Vegetales Hidratados (HVO) – El auge del diésel renovable. BioRefineries Blog, 2015.

MOTA S.A.P E AT., Production of green diesel by thermal catalytic cracking of crude palmoil (Elaeis guineensis Jacq) in a pilot plant, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 110, 1–11, 2014.

NATELSON R. et al. Technoeconomic analysis of jet fuel production from hydrolysis, decarboxylation, and reforming of camelina oil. Biomass and Bioenergy, 2015.

NESTE, Renewable Products, 2015.

NYGREN, E., ALEKLETT, K., HÖÖK, M., Aviation fuel and future oil production scenarios, Energy Policy, vol. 37 (10), 2009.

NOVELLI, P. ICAO Environment Branch, 2013.

OAG. The European Union Emission Trading Scheme. OAG, Market Intelligence Report, London, 2012.

OXFORD ECONOMICS. Economic Benefits from Air Transport in Brazil. Oxford Economics, Report to IATA, Oxford, 28p, 2011. Disponível em <http://www.benefitsofaviation.aero/Documents/Benefitsof-Aviation-Brazil-2011.pdf>. Accesado em maio de 2015.

PARANÁ-ONLINE, 2014, Iata reduz previsão de lucro para US$ 18,7 bilhões em 2014. Disponível em: <http://www.paranaonline.com.br/editoria/economia/news>. Acesso em maio de 2015.

PEARLSON, M.,WOLLERSHEIM, C., HILEMAN,J. A techno-economic review of hydroprocessed renewable esters and fatty acids for jet fuel production. Biofuels, Bioprod.Biorefin,7(1) ,89–96, 2013.

PEARLON MN. A techno-economic and environmental assessment of hydroprocessed renewable distillate fuels. Massachusetts Institute of Technology, Master thesis, 2011.

PEREGO C., RICCI M., Catal. Sci. Technol, 2012.

PIO, M. Estudos de Prospectiva Tecnológica como Ferramenta de Apoio ao planejamento Estratégico: o caso têxtil, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

PLANO DE VÔO para biocombustíveis de aviação no Brasil: plano de ação, Boeing/Embraer/ FAPESP e UNICAMP, junho 2013.

PONTES, G. ET AL. Combustível de Aviação, Trabalho Final, Gestão de Tecnologia e Propriedade Industrial, 2014.

PORTAL BRASIL, Brasil terá primeiro voo comercial com bioquerosene, 2013. <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura>. Acesso em janeiro 2016.

PORTER, MICHAEL. Estratégia e competição, 11ª ed. São Paulo: Campos, p.19, 1999.

PORTER, MICHAEL E. Estratégia Competitiva: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro. Editora Campus, 1986.

PORTER, M. E. Estratégia Competitiva: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência; tradução de Elizabeth Maria de Pinho Braga – 2ª ed – Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: Elsevier, 6ª reimpressão, 2004.

PROBSTEIN, RONALD F, EDWIN HR. Synthetic fuels. Mineola, New York: Dover Publications Inc., 2006.

KARGBO DM. Biodiesel production from municipal sewage sludges. Energy Fuels, 24:2791–4, 2010.

REKOSKE J. Biofuels: challenges & opportunities. Asia Pacific Clean Energy Summit & Expo; 2010.

REYNOL, F. Modelo do biodiesel poderia ser aplicado ao querosene vegetal. Inovação Uniemp. vol.3: 21-23, 2007

ROBERTS WL. Bio jet fuels. In: The fifth international biofuels conference, 2008.

SCHMAL, M. Cinética e Reatores: Aplicação na Engenharia Química: teoria e exercícios. Editora Synergia. Capítulo 4, 2010.

SERRANO-RUIZ JC, DUMESIC JA. IN: GUCZI L, ERDOHELYI A, editors. Catalytic production of liquid hydrocarbon transportation fuels. Catalysis for Alternative Energy Generation, p. 29–56, 2012.

SINGH A, OLSEN SI. A critical review of biochemical conversion, sustainability and life cycle assessment of algal biofuels. Appl Energy, 88: 3548–55, 2011.

SCHNAARS, S.P.: How to Develop and user scenarios. Long Range Planning, nº 20. p.p 105-114, 1987.

SOLAZYME, Renewable Fuels for the future, 2016.

SPAGNUOLO, B. Perspectivas Estratégicas para grandes consumidores industriais frente às mudanças regulatórias com a inclusão do livre acesso às redes de distribuição de gás natural canalizado no estado de São Paulo. Programa de Pós-graduação em energia PIPGE, Universidade de São Paulo, 2010.

SWAFEA, State of the art on alternative fuels in aviation, 2011.

THUSHARA, H; ZAHIRA Y.; NARAYANAN N. Aviation biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015.

VAN DER HAGEN. The application of biojet fuels until 2050 scenarios for future developments. Master thesis, Utrecht University; 2012.

VAN DER HEIJDEN, K.: Scenarios: the art of estrategic conversation. John Wiley and Sons. New York, 1997.

VILLELA, M. Hidrogenação e Desidrogenação. Processos Químicos Industriais III, 2013.

VONORTAS A., PAPAYANNAKOS N. Comparative analysis of biodiesel versus green diesel, WIREs Energy Environ, 2014.

WARDLE D.A. Global sale of green air travel supported using biodiesel. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 7: 1-64, 2003.

WINCHESTER, N.; MCCONNACHIE, D.; WOLLERSHEIM, C.; WAITZ, I. Economic and Emissions impacts of renewable fuel goals for aviation in the US. Transportation Reserch Part A, v.58, p. (116- 128), 2013.

YOU, F., WANG, B. Multiobjective optimization of biomass-to-liquids processing networks. Disponível em ⟨http://focapo.cheme.cmu.edu/2012/proceedings/data/papers/013.pdf⟩. Acessado em junho 2015.