



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS



RAÍSSA RODRIGUEZ SOARES
STELLA ROCHA FERNANDES INÁCIO

Análise da maturidade tecnológica dos biocombustíveis de aviação

LIMEIRA, 2016.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS



RAÍSSA RODRIGUEZ SOARES
STELLA ROCHA FERNANDES INÁCIO

Análise da maturidade tecnológica dos biocombustíveis de aviação.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Ciências Aplicadas da Universidade
Estadual de Campinas como
requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Gestão do
Agronegócio.

Orientadora: Professora Doutora
Maria Ester Soares Dal Poz.

LIMEIRA, 2016.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Renata Eleuterio da Silva – CRB 8/9281

So11a

Soares, Raíssa Rodriguez, 1992-

Análise da maturidade tecnológica dos biocombustíveis de aviação / Raíssa Rodríguez Soares, Stella Rocha Fernandes Inácio. - Limeira, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Maria Ester Soares Dal Poz.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Biocombustíveis. 2. Aviação. 3. Impactos ambientais. I. Inácio, Stella Rocha Fernandes, 1993-. II. Dal Poz, Maria Ester Soares, 1956-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

Titulação: Bacharéis em Gestão do Agronegócio

Data de entrega do trabalho definitivo: 28-11-2016



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Ciências Aplicadas



Autor(a): *Stella Rocha Fernandes Inácio*

RA: 139773

Título do trabalho: *Análise da maturidade tecnológica dos biocombustíveis de aviação.*

Natureza: *Trabalho de Conclusão de Curso*

Curso: *103 - Gestão do Agronegócio*

Orientador: *Prof. Dra. Maria Ester Soares Dal Poz*

Aprovado em: *segunda-feira, 28 de novembro de 2016*

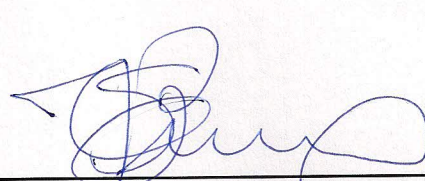
Banca Examinadora

Presidente:



Prof. Dra. Maria Ester Soares Dal Poz

Avaliador 1:



Carolina da Silveira Bueno

Este exemplar corresponde à versão final da monografia aprovada.



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Ciências Aplicadas



Autor(a): *Raíssa Rodriguez Soares*

RA: 137404

Título do trabalho: *Análise da maturidade tecnológica dos biocombustíveis de aviação.*

Natureza: *Trabalho de Conclusão de Curso*

Curso: *103 - Gestão do Agronegócio*

Orientador: *Prof. Dra. Maria Ester Soares Dal Poz*

Aprovado em: *segunda-feira, 28 de novembro de 2016*

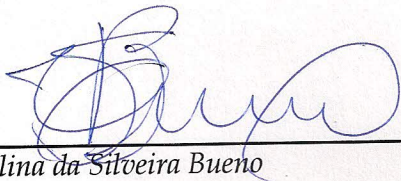
Banca Examinadora

Presidente:



Prof. Dra. Maria Ester Soares Dal Poz

Avaliador 1:



Carolina da Silveira Bueno

Este exemplar corresponde à versão final da monografia aprovada.

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso aos nossos pais, Erfides Bortolazzo Soares, Márcia Rodriguez Soares, Airton Aparecido Inácio e Célia Regina Silva Inácio.

RESUMO

A indústria da aviação busca a minimização dos impactos ambientais da queima de combustíveis fósseis, por meio da redução das emissões de gases que agravam o efeito estufa. Neste cenário, os biocombustíveis, tornam-se um incentivo para o crescente aumento das trajetórias tecnológicas, surgindo como uma alternativa sustentável neste mercado.

O caráter prospectivo do presente trabalho, através de revisão bibliográfica, é dado pelo uso do *Technological Roadmap*, que apresenta *pathways* visando substituir os combustíveis de aviação à base de petróleo por meio de uma nova indústria de biocombustíveis. Estabeleceu-se o nível de maturidade descritiva de cada prospecção, através do *Technology Readiness Level*, permitindo análise dos graus de maturidade, trajetórias tecnológicas, oportunidades e potenciais para o desenvolvimento dos biocombustíveis.

Por meio de uma breve análise do mercado alvo e dos esforços de P&D, verifica-se que o desenvolvimento tecnológico da produção em escala comercial e a distribuição dos biocombustíveis, em conjunto aos incentivos públicos, trarão reais chances de viabilizar a alternativa garantindo maior desenvolvimento e sustentabilidade do setor.

Palavras chave: trajetórias tecnológicas; nível de Maturidade; biocombustíveis; aviação.

ABSTRACT

The aircraft industry seeks to minimize the environmental impacts of burning fossil fuels by reducing greenhouse gas emissions. In this scenario, biofuels become attractive as the technological paths increase since it is a sustainable alternative in this market.

The prospective character of this work, based on bibliographic review, is given by the use of the Technological Roadmap, a tool that presents pathways to replace petroleum-based aviation fuels with a new biofuel industry. Through the Technology Readiness Level, the descriptive maturity level of each prospection was established, enabling the analysis of maturity levels, technological paths and opportunities and potential for the development of biofuels.

By analyzing the targeted market and R&D of this matter, it is noticed that the technological development of commercial scale production, distribution of biofuels and the public incentives will bring a real chance of making this alternative feasible, ensuring greater development and sustainability of this business.

Keywords: technological trajectories; maturity level; biofuels; aviation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	Esquema da escala de níveis de maturidade do TRL.....	17
FIGURA 2	Esquema típico de um <i>Roadmap Tecnológico</i>	19
FIGURA 3	Caminhos de conversão para biocombustíveis.....	22
FIGURA 4	Caminhos identificados para a produção de biocombustível sustentável de aviação no Brasil.....	24
FIGURA 5	Matérias-primas e sua posição relativa segundo custos e esforços técnicos para serem convertidas em biocombustível para a aviação.....	29
FIGURA 6	Nível de maturidade das tecnologias segundo o TRL.....	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Esquema da escala de níveis de maturidade do TRL dos biocombustíveis.....	17
TABELA 2	Aspectos positivos e negativos das matérias-primas.....	29
TABELA 3	Aspectos positivos, negativos e custos aproximados das tecnologias.....	32
TABELA 4	Atributos dos Biocombustíveis e combustíveis fósseis por meio da escala <i>Likert</i>	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APR	Fase aquosa reforma
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATJ	Álcool para combustível de aviação
Bonsucro	<i>Better Sugarcane Initiative</i>
BTL	Biomassa em líquidos
CAAFI	<i>Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative</i>
CH	Hidrotermólise Catalítica
CNG	Crescimento Neutro em Carbono
DML	<i>Design Maturity Levels</i>
DSHC	Fermentação direta de Açúcares para Hidrocarbonetos
EIT	<i>European Institute of Innovation and Technology</i> Querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-
FT	<i>Tropsch</i>
FTJ	Fermentação para aviação
GEE	Gases do Efeito Estufa
GT	Grupos de Trabalho Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustível de
HDCJ	aviação
HEFA	Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessado
IATA	Associação Internacional de Transporte Aéreo
IML	<i>Interface Maturity Levels</i>
IPCC	Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas
IRL	<i>Integration Readiness Levels</i>
MPR	Matérias-primas Renováveis
MRL	<i>Manufacturing Readiness Levels</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PRL	<i>Programmatic Readiness Levels</i>
RSB	<i>Roundtable on Sustainable Biomaterials</i>
SRL	<i>System Readiness Levels</i>
TML	<i>Technology Maturity Level</i>
TR	<i>Technological Roadmap</i>

TRL	<i>Technology Readiness Levels</i>
UNEP	Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas
WMO	Organização Mundial de Meteorologia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	6
3. IPP, AQUECIMENTO GLOBAL E BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO NO MUNDO.....	7
3.1. IPCC E AQUECIMENTO GLOBAL.....	7
3.2. O MERCADO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO NO MUNDO.....	10
4. ABORDAGEM TEÓRICO-CONCEITUAL E METODOLÓGICA.....	12
4.1. TECHNOLOGY READINESS LEVEL.....	16
4.2. TECHNOLOGICAL ROADMAP.....	19
4.3. TECHNOLOGICAL ROADMAPS PARA O CASO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO.....	21
4.4. ESCALA DE <i>LIKERT</i>	24
5. TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.....	25
6. TRAJETÓRIAS: CORRELACIONANDO COM MATÉRIAS-PRIMAS E TECNOLOGIAS DE REFINO.....	28
6.1. MATÉRIA-PRIMA.....	28
6.2. TECNOLOGIA DE REFINO.....	30
7. RESULTADOS.....	34
7.1. HIDROPROCESSAMENTO DE ÉSTERS E ÁCIDO GRAXOS (HEFA).....	34
7.2. BIOMASSA PARA LÍQUIDOS (BTL).....	34
7.3. FERMENTAÇÃO PARA AVIAÇÃO (FTJ).....	35
7.4. ÁLCOOL PARA AVIAÇÃO (ATJ).....	35
7.5. CELULOLÓGICO DESPOLIMERIZADO HIDROTRATADO PARA COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO (HDCJ)	35
7.6. FASE AQUOSA REFORMA (APR)	36
7.7. ESCALA DE <i>LIKERT</i>	38
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
9. REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A aviação civil é um importante negócio para a economia global. Segundo Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA,2010) o setor de transporte aéreo contribui com cerca de US\$ 3,8 trilhões por ano para a economia global. De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil, divulgado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), enquanto o número de pousos e decolagens da aviação civil brasileira cresceu 75% em nove anos, a expansão das emissões passou de 5,0 mil toneladas em 2005 para cerca de 6,6 mil em 2013 (32% de acréscimo). Acredita-se que caso a utilização de combustível e as emissões de CO₂ continuem aumentando nas velocidades atuais, as emissões de CO₂ da aviação mundial em 2050 serão o sêxtuplo da quantidade atual.

Especialistas se preocupam com o aumento na demanda energética do setor de transportes por sua grande dependência do petróleo. Este setor, além de ser um grande dependente dos combustíveis fósseis, é um dos setores que mais cresce em termos de mercado. 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, 2010).

Nas últimas décadas, o crescimento da indústria da aviação vem colaborando para o aumento significativo dos impactos no meio ambiente, em especial no que diz respeito às emissões de gases do efeito estufa. A indústria da aviação tem se mostrado comprometida com a redução de seu impacto ambiental e por isso estabeleceu metas para atingir um crescimento neutro em carbono até 2020 e para reduzir em 50% as emissões de dióxido de carbono (CO₂), nos níveis de 2005, até 2050 (BOEING *et. al.* 2013). A aviação é atualmente responsável por 2% das emissões antropogênicas de CO₂ global (ATAG, 2009). Suas emissões tendem a aumentar rapidamente em resposta à crescente demanda dos clientes, de 705 milhões de toneladas de CO₂ em 2013 para entre 1.000 e 3.100 Mt em 2050 (LEE, LIM, & OWEN, 2013).

Em virtude deste cenário, o desenvolvimento de novos combustíveis que se façam menos poluentes torna-se oportuno, visando minimizar os impactos do

incremento da demanda de combustíveis fósseis na aviação, respeitando os princípios do desenvolvimento sustentável (ELKINGTON, 1998).

Desta maneira, a indústria aeronáutica, em busca de inovações tecnológicas, sinalizou o interesse por outra fonte substituta ao combustível aeronáutico de origem fóssil, visando principalmente à redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), aumento da segurança energética e minimização do impacto da volatilidade do preço do petróleo.

O conceito de inovação tecnológica envolve a aplicação bem-sucedida de ideias novas, o que não requer, necessariamente, sua origem em uma invenção, podendo se constituir, por exemplo, na combinação de tecnologias existentes para criação de novas aplicações. O que importa é que o conceito de inovação se refere a tecnologias que estão presentes no mercado, ou seja, estão sendo comercializadas (GRAETTINGER et al., 2002)

O estágio de amadurecimento de uma tecnologia, ou seja, da sua prontidão para aplicação comercial, é um importante indicador do quanto esta está perto do estágio de mercado. Alguns fatores são reveladores desta condição: por exemplo, há que serem avaliadas questões como as de “risco técnico”, e “risco tecnológico”, (a primeira expressão se refere ao risco de um determinado sistema tecnológico não atingir as especificações de desempenho desejadas no período e/ou orçamentos planejados, enquanto a segunda expressão manifesta o risco de uma determinada tecnologia não amadurecer suficientemente em um período de tempo previsto). (MOON; SMITH; COOK, 2005).

A mensuração do nível de maturidade tecnológica é uma importante ferramenta métrica para o gerenciamento de riscos tecnológicos das atividades, além de ser um indicador fundamental para acompanhamento do planejamento e gestão de projetos.

Diferentes conceitos e sistemas foram criados com o objetivo de mensurar a maturidade funcional, tecnológica ou sistêmica de equipamentos e sistemas, podendo ser mencionados: *Technology Readiness Levels (TRL)*, *Interface Maturity Levels (IML)*, *System Readiness Levels (SRL)*, *Integration Readiness Levels (IRL)*, *Design Maturity Levels (DML)*, *Manufacturing Readiness Levels (MRL)*, *Programmatic Readiness Levels (PRL)* e *Technology Maturity Level (TML)*, além de processos e ferramentas diversificados (ALMEIDA et. al. 2008).

O indicador bastante adotado para uso institucional, quando se deseja comercializar uma tecnologia, e então, é necessário demonstrar sua maturidade para o mercado (e que tem o conceito mais extensamente propagado mundialmente), é o *Technology Readiness Level*, ora adiante, TRL. Ele será utilizado como metodologia deste trabalho, de modo a indicar a prontidão para uso de uma tecnologia ou indicar o nível de maturidade da mesma, já que o TRL fornece a estrutura necessária em vista aos investimentos a serem considerados, através de uma análise para definição dos níveis de incerteza das diferentes tecnologias relacionadas à produção de biocombustíveis de aviação.

Pressupondo que nem toda bioenergia é energia sustentável, vale lembrar que os biocombustíveis precisam ser desenvolvidos de acordo com fortes critérios de sustentabilidade para atender às necessidades do setor de aviação, ou seja, preferencialmente possibilitar a promoção de benefícios ambientais, gerar empregos, atividade econômica e segurança energética.

As aplicações do TRL são apresentadas em detalhes, nos tópicos sequenciais deste documento, que foi inicialmente proposto em 1989 com sete níveis de maturidade (SADIN, 1989), para atender às necessidades específicas da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Posteriormente, em 1995, a escala de níveis foi aperfeiçoada em sua descrição e o Indicador TRL passou a apresentar nove níveis (MANKINS, 1995). Os diversos níveis de maturidade tecnológica possíveis, representados pelo indicador, estão associados aos estágios iniciais do ciclo de vida tecnológico de um determinado sistema ou produto.

Aponta-se, neste contexto, que os TRL são a base para a criação e difusão de sistemas de certificação de novas tecnologias, o que é explorado neste trabalho.

Estudos realizados pela própria NASA mostram que a tentativa de difundir tecnologias imaturas gerou problemas técnicos, de prazo e de custo durante o desenvolvimento dos sistemas onde a TRL permitiu medir ou dimensionar a complexidade do projeto com base no nível de maturidade das tecnologias envolvidas. Podendo ser aplicado a qualquer tipo de tecnologia, ele tem sido usado primordialmente para aperfeiçoar o tempo de transição ou inserção de uma determinada tecnologia, podendo abranger desde a fase de demonstração até a fase de desenvolvimento do produto (GRAETTINGER et al., 2002).

No cenário de produção dos biocombustíveis para aviação, podemos verificar um novo paradigma tecnológico nas suas diferentes rotas de desenvolvimento. São

inúmeras as opções de matérias primas que apresentam potencial para a larga escala da produção de biocombustíveis, principalmente as que contêm significativa concentração de açúcares, óleos e amido, além de resíduos como lignocelulose, gases de exaustão e resíduos sólidos urbanos. Em outros países, como nos Estados Unidos, os grãos, madeira, resíduos agrícolas e fibra, são as principais matérias-primas utilizadas. (BOEING *et. al.* 2013)

As tecnologias aplicadas na transformação destas matérias-primas compreendem a conversão bioquímica, de lipídios e a termoquímica. Diante destes fatos, as mesmas tornam-se uma boa opção para a aviação, uma vez que não acarretam em grandes mudanças nas infraestruturas das aeronaves. O biocombustível denominado *drop-in*, pode ser definido como: “Combustível alternativo que não se distingue do combustível convencional e que não necessita de mudanças na infraestrutura de suprimentos, no motor ou na aeronave”. Portanto, classifica-se como um combustível apto à mistura do querosene fóssil, que possui propriedades físico-químicas do combustível tradicional, podendo até ser misturado a esse de modo a exercer desempenho e segurança semelhantes sem que ocorram alterações ou mudanças nos motores, no sistema das aeronaves ou na infraestrutura de distribuição e armazenamento (IATA, 2010).

Diversas companhias, buscando estudar o desempenho dos biocombustíveis *drop-in*, realizaram testes de voos em escala piloto visando demonstrar a viabilidade técnica desses combustíveis renováveis. Entre 2008 e 2010, foram realizados cerca de oito voos de demonstração com biocombustíveis produzidos a partir de diversas matérias primas.

Como média mundial, o combustível representa o custo operacional mais importante de uma companhia aérea. Ele consiste em atualmente 34% das despesas operacionais e no Brasil, é ainda maior, equivalendo a cerca de 40%. Além de sua participação alta, a volatilidade associada à variação dos preços do petróleo é outra preocupação, incorporando as dificuldades consideráveis para o planejamento e administração dessas companhias. (BOEING *et.al.* 2013)

A consciência do impacto ambiental da utilização de combustíveis fósseis, além das preocupações com os custos da energia, encontra-se significativamente mais frequente no contexto da indústria da aviação. O transporte aéreo está crescendo com extrema rapidez, apesar de ser responsável atualmente por cerca de 2% das emissões de dióxido de carbono de origem humana. (BOEING *et.al.* 2013)

A avaliação de sustentabilidade da produção de matérias-primas realizada no âmbito do Projeto de Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil propostos por organizações como a *Better Sugarcane Initiative* (Bonsucro) e a Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) seguiu os princípios e critérios internacionais de sustentabilidade para a produção de biocombustíveis.

Numerosos benefícios relacionados à segurança energética em comparação aos combustíveis fósseis, desenvolvimento econômico e meio ambiente são oferecidos pelos biocombustíveis que, ao mesmo tempo, apresentam ainda muitos desafios a serem superados, uma vez que estão cercados de dúvidas relacionadas à sustentabilidade de sua produção.

Existe uma preocupação crescente com os impactos diretos e indiretos relacionados ao uso da terra e à competição com a produção de alimentos. O uso de cana-de-açúcar como fonte de energia, que compõe este tipo de preocupação, tem provocado a busca por uma certificação global de biocombustíveis a fim de assegurar que a sustentabilidade seja uma pré-condição para a sua produção (TOMEI & UPHAM, 2009). Em termos de sustentabilidade, os impactos surgem desde a produção da matéria-prima até a geração dos biocombustíveis sendo necessário assegurar que os requisitos de sustentabilidade estejam de fato sendo observados na prática, através de certificação e fiscalização, pela garantia de cumprimento das leis aplicáveis. (BOEING *et.al.* 2013).

A discussão acerca dessas questões é de grande importância, uma vez que a certificação de sustentabilidade se tornará cada vez mais, um requisito de acesso aos mercados, onde seus padrões e processos de certificação são complexos e requerem adaptações na cadeia de suprimentos apresentando além de tudo, um nível de prontidão de grande importância, impactando no nível de maturidade das tecnologias, que buscam ser consideradas aptas a entrarem no mercado para uma produção em larga escala. (BOEING *et.al.* 2013)

O desenvolvimento de sistemas de certificações representa um importante passo para a efetuação e controle da produção e comércio de biocombustíveis. Tais medidas visam não somente o ambiente no qual se encontram os sistemas, mas também as relações macro que se estabelecem por meio das ações locais e impactos globais.

Além do fornecimento de um breve resumo sobre oportunidades e gargalos que afetam as perspectivas comerciais dos biocombustíveis, os tópicos abaixo reúnem cenários mercadológicos, análises e status das biotecnologias para aviação.

Como metodologia, para identificar as tecnologias disponíveis no mercado, foi utilizado o *Technological Roadmap*, no qual permite analisar e entender, dentre as diferentes opções tecnológicas, as mais relevantes e maduras. O *Technological Roadmap* utilizado como base neste trabalho foi o apresentado pelo “*Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação*”, parceria entre Boeing, Embraer, Fapesp e Unicamp.

Já para avaliar o nível de maturidade de cada uma das tecnologias relevantes para o mercado de biocombustíveis de aviação, foi utilizado o *Technology Readiness Levels*, que apresenta uma hierarquia de níveis em que cada tecnologia se encontra.

O documento está organizado em oito tópicos, sendo o primeiro a parte introdutória. O segundo tópico, trata dos objetivos a serem alcançados com o presente trabalho. Posteriormente, segue-se com o tópico três, no qual é abordado o IPCC, Aquecimento Global e o mercado de Biocombustíveis para Aviação no mundo.

No quarto tópico é apresentado a metodologia utilizada para analisar as tecnologias existentes e os níveis de maturidade de cada uma.

O item cinco trata-se das trajetórias tecnológicas existentes dos biocombustíveis, ou seja, os caminhos que as tecnologias estão percorrendo.

Já no item seis, é feita uma correlação entre as matérias primas disponíveis e as tecnologias de refino existentes, demonstrando os aspectos positivos e negativos de cada matéria prima.

O item sete descreve os níveis e o status das tecnologias estudadas e por fim o item oito apresenta-se as conclusões deste documento.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial das tecnologias envolvidas na produção de biocombustíveis de aviação e apresentar cenários de maturidade tecnológica.

O contexto desta análise vem do fato de que há um claro aumento da demanda de energia em que o aquecimento global, derivado do uso de fontes fósseis dessas energias, vem levando os países a buscarem alternativas menos poluentes e renováveis para a produção da mesma. As questões ambientais associadas à necessidade de redução das emissões dos gases de efeito estufa colocam na pauta de preocupações mundiais a produção e uso dos biocombustíveis.

A indústria aeronáutica e do transporte aéreo vêm acompanhando há alguns anos, os desenvolvimentos nas várias áreas dos biocombustíveis.

Consiste a Pesquisa e Desenvolvimento de biocombustíveis para a aviação em uma importante iniciativa, da qual o Brasil faz parte. Assim, cenarizar as formas pelas quais a P&D está evoluindo, em especial com a utilização de indicadores de maturidade tecnológica, é um fato de grande relevância para entender os caminhos que as novas tecnologias de energias limpas devem ainda trilhar, até definitivamente serem colocadas e se difundirem por novos mercados energéticos.

3. IPCC, AQUECIMENTO GLOBAL E BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO NO MUNDO

3.1. IPCC e Aquecimento Global

O problema do aquecimento global foi previsto teoricamente desde o século XIX (HAWKINS, 2013). Na década de 70, o assunto já estava sendo estudado em larga escala, mas os cientistas enfrentavam dificuldades para colocar suas conclusões na pauta das negociações políticas. Em 1986, na Conferência de Toronto sobre a atmosfera em mudança, a discussão sobre o clima entrou nos tópicos de debate, mas sem grande representatividade. Ganhou maior visibilidade apenas em 1988 no Congresso dos Estados Unidos com a apresentação de um relatório feito por um dos principais climatologistas da época, James Hansen. Como resultado desses esforços, no mesmo ano, as Nações Unidas apoiaram a criação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) e pelo Programa de Meio Ambiente nas Nações Unidas (UNEP).

O IPCC é um órgão científico cujo objetivo é analisar as informações científicas, técnicas e socioeconômicas mundiais para compreender as mudanças

climáticas, sintetizá-las e divulgá-las, sugerindo maneiras de combater os problemas.

A estrutura do IPCC é dividida em três grupos de trabalho (GT). O GT I avalia os aspectos científicos do sistema climático e as suas alterações. Os principais tópicos considerados por este Grupo são: mudanças nos gases de Efeito Estufa e aerossóis na atmosfera, as mudanças observadas no ar, nas temperaturas terrestres e oceânicas, nas chuvas, nas geleiras e camadas de gelo, nos oceanos e no nível do mar; perspectiva histórica e paleoclimática sobre as alterações climáticas, além dos ciclos biogeoquímicos, os modelos climáticos, as projeções climáticas e as causas das mudanças climáticas.

O GT II trata da vulnerabilidade dos sistemas naturais e socioeconômicos às mudanças climáticas, das suas consequências positivas e negativas e das opções para se adaptar a ela. Ele considera também a inter-relação entre a vulnerabilidade, adaptação e desenvolvimento sustentável. Para estas avaliações são considerados setores (recursos hídricos, ecossistemas, produção de alimentos e florestas, sistemas costeiros, indústria e saúde humana) e regiões (África, Ásia, Austrália e Nova Zelândia, Europa, América Latina, América do Norte, Regiões Polares e Pequenas Ilhas).

O GT III cuida das opções para mitigar as mudanças climáticas por meio da limitação das emissões de gases de Efeito Estufa e do aumento das atividades de sua retirada da atmosfera. Os principais setores econômicos são considerados em curto e longo prazo. Os setores incluem energia, transportes, construção, indústria, agricultura, silvicultura e gestão de resíduos. O GT analisa os custos e benefícios das diferentes abordagens para a mitigação considerando, também, os instrumentos disponíveis e as medidas políticas. A abordagem usada é cada vez mais orientada para a solução.

Segundo o IPCC em seu *Summary for Policymakers* (2014), os resultados de seus relatórios têm reforçado com crescentes evidências a grande influência humana sobre o clima. As emissões de Gases de Efeito Estufa (ora adiante, GEE) produzidas pelas atividades humanas, como indústria, queima de combustíveis fósseis, uso de fertilizantes, desperdício de alimentos e o desmatamento estão entre as principais causas do problema, estando atualmente nos níveis mais altos da história.

Desde a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, a concentração atmosférica do dióxido de carbono (considerado principal gás de efeito estufa) aumentou cerca de 35,3%. De acordo com o IPCC (2014), hoje as emissões ultrapassam 8,8 bilhões de toneladas de carbono (ou 32,3 bilhões de toneladas de CO₂) ao ano, somando-se a queima de combustíveis fósseis (7,2 bilhões de toneladas) e o uso da terra (1,6 bilhão de toneladas). Quase 60% desse carbono é absorvido pelos oceanos e pela biosfera, o restante fica na atmosfera – daí o aumento da concentração de CO₂ no ar.

O primeiro relatório do IPCC afirmou que para minimizar o problema de mudanças climáticas provocadas pelo ser humano, de nada adiantariam medidas isoladas por área ou setor gerador de poluição. Todos os setores que geram emissões de CO₂ precisam passar por processos de restrições quanto a tais emissões devido ao caráter global associado aos impactos ambientais consequentes.

O IPCC, em seu relatório especial sobre aviação estimou que a taxa de crescimento ao ano do setor aéreo para o período de 2002 a 2010 foi de 5% em países industrializados e de 7 a 8% em países em desenvolvimento.

Outras significantes conclusões do artigo especial do IPCC para aviação foram:

- A aviação participou, em 1998, com cerca de 3,5% de toda a contribuição antropogênica ao fenômeno do aquecimento global pela emissão de Gases de Efeito Estufa;
- O volume das emissões de todos os gases poluentes devido à aviação (incluindo monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), hidrocarbonetos (HC), etc.) é cerca de duas a quatro vezes superior à emissão de CO₂ pela aviação. Entretanto, em termos de influência compreendida ou comprovada no fenômeno do agravamento antropogênico do Efeito Estufa, é o CO₂ o principal gás. Alguns gases relacionam-se à depleção da camada de ozônio e outros ainda estão em estágios iniciais de compreensão com relação à influência em fenômenos ambientais atmosféricos;

- De um modo geral, a aviação supersônica (velocidade acima do som) é cerca de 5 vezes mais influente no agravamento do Efeito Estufa do que a aviação subsônica (abaixo da velocidade do som);
- Por volta do ano de 2050, os rastros de condensação, em cenário referencial, deverão ocupar cerca de 5% dos céus de regiões de intenso tráfego aéreo, dentre elas a Europa Central e o Nordeste dos Estados Unidos.

A velocidade sem precedentes das mudanças com a quais as sociedades se defrontam no mundo atual intensifica não somente os níveis de incerteza, como também a complexidade dos processos, indicando para um cenário diferente de tudo o que se conhece até os dias atuais.

Conceitos como redução de emissões, compensação de créditos de carbono e, mais recentemente, financiamento de pesquisas de biocombustíveis fazem parte atualmente do vocabulário das companhias aéreas e de fabricantes de aviões.

Este conjunto de atividades e seus desdobramentos justificam, sem dúvida, iniciativas de P&D para novos mercados energéticos, sustentáveis e limpos.

3.2. O Mercado dos Biocombustíveis para Aviação no Mundo

A indústria de aviação é altamente dependente dos combustíveis fósseis como o petróleo, que representa atualmente 34% dos custos operacionais de uma companhia aérea (BOEING *et al.*, 2013), o que significa que a volatilidade do preço do petróleo tem impactos diretos dos custos das companhias aéreas.

Segundo GAMARRA *et. al* (2015), além das incertezas devido à instabilidade no preço do petróleo e do aumento da demanda que esta indústria tem, existe grande preocupação para reduzir as emissões de GEE. Isto tudo faz com que a indústria de aviação procure outras fontes de energia, sendo os biocombustíveis uma alternativa emergente.

A meta atual é o Crescimento Neutro em Carbono (CNG, na sigla em inglês) até 2020 e uma redução de 50% nas emissões líquidas de CO₂ sobre níveis de 2005 até 2050. Várias medidas estão sendo tomadas pela indústria de aviação para atingir essa meta. Entre elas estão o uso mais eficiente de combustíveis com turbinas melhoradas, projetos de aviões mais leves, gerenciamento avançado do espaço aéreo e combustíveis menos poluentes (BOEING *et al.*, 2013).

Segundo BOEING *et al.* (2013), para que se consiga alcançar as metas de redução de emissões de CO₂ no setor será necessária a produção de biocombustíveis sustentáveis, que preencham as necessidades técnicas da aviação.

Esses biocombustíveis são chamados de “*drop-in*”, porque podem ser misturados com combustível para aviação convencional até a proporção definida por uma especificação de combustível, que podem usar a mesma infraestrutura de abastecimento e que não requerem adaptação de avião ou turbinas (BOEING *et al.*, 2013).

Alguns desses biocombustíveis já estão sendo produzidos em escala piloto e utilizados em voos testes e comerciais. Os desafios a serem enfrentados agora, são aumentar sua escala de produção, associados à disponibilidade de matéria prima, processo de conversão, bem como sua disposição final até as companhias aéreas (BOEING *et al.*, 2013).

Para GAMARRA *et. al* (2015), o desenvolvimento do mercado de biocombustíveis para aviação, principalmente os biocombustíveis *drop-in*, enfrenta um conjunto de restrições, sendo as principais os custos de produção, a falta de investimentos públicos e privados, a escassez de matéria prima, falta de organização da cadeia produtiva e a ausência de um marco legal.

Segundo GEGG *et al.* (2014), os custos de produção são uma restrição significativa para o desenvolvimento e a utilização dos biocombustíveis de aviação, sendo o preço de compra dos biocombustíveis (que pode ser influenciado pelo processo de produção, custo da matéria-prima, custo de infraestrutura e legislação) dada a tecnologia atual, maior que o preço dos combustíveis padrões de aviação.

A falta de investimentos vem da incerteza sobre as tecnologias e uma incapacidade de obter crédito devido à crise econômica global, além da falta de apoio dos governos (GEGG *et al.*, 2014).

Outra restrição para o desenvolvimento dos biocombustíveis de aviação está relacionada com a falta de uma cadeia de fornecimento consolidada, não existindo, por exemplo, uma coordenação entre os diferentes elos desta cadeia. Além disso, a ausência de insumos obriga as companhias aéreas desenvolverem suas próprias cadeias de fornecimento, tendo que garantir a própria matéria-prima, a própria tecnologia de processamento e a própria logística a ser realizada (GAMARRA *et. al*, 2015).

A falta de um marco legal é o também outro fator restritivo. A ausência deste faz com que não existam os incentivos necessários para regular a produção, estimular a inovação e até mesmo usufruir dos benefícios das firmas que decidam investir produzindo estes biocombustíveis. A falta de legislação não só no que diz respeito a financiamentos, como também, leis que prevejam um controle ambiental, tendo assim como fiscalizar a produção de biocombustíveis destinados a aviação (GEGG *et al.*, 2014). Se não houver uma legislação clara e qualificada, não há como fiscalizar e punir quem não trabalha de forma sustentável, que é o principal objetivo das partes interessadas nos avanços do mercado de biocombustíveis (GAMARRA *et. al*, 2015).

Os biocombustíveis para aviação ainda não possuem uma comercialização regular na cadeia de suprimentos aéreos e não possuem uma indústria desenvolvida, plenamente comercial (BOEING *et al.*, 2013).

Segundo especialistas, acima de tudo necessitamos vencer barreiras e preencher lacunas relacionadas ao abastecimento sustentável de matéria-prima, as tecnologias de refino a serem utilizadas, e a logística empregada no uso de biocombustíveis para aviação, contudo o paradigma acena com boas possibilidades de levar a indústria aérea a uma evolução. Portanto, é de suma importância analisar as diferentes trajetórias tecnológicas destes biocombustíveis.

4. ABORDAGEM TEÓRICO-CONCEITUAL E METODOLÓGICA

Para a elaboração deste trabalho, primeiramente fez-se necessário entender o impacto da aviação nas mudanças climáticas no mundo e, para isso, as informações foram obtidas de artigos científicos dos principais autores que abordam a questão (direta ou indiretamente) e notícias ou reportagens dos principais canais que abordam o setor do meio ambiente e biocombustíveis.

Após esta análise, iniciou-se um trabalho de referencial bibliográfico sobre o mercado dos biocombustíveis de aviação no mundo e aborda-se a necessidade da produção de biocombustíveis sustentáveis do tipo “*drop-in*” (e os resultados já obtidos com eles, como por exemplo produção em escala piloto e a utilização dos mesmos em voos testes comerciais) e as restrições que este mercado precisa

enfrentar como os custos de produção, legislação, matérias-primas, infraestrutura e outros.

O levantamento de informações do mercado, meio ambiente e demanda das novas tecnologias para produção de biocombustíveis terá a utilidade como ferramenta de suporte às decisões que envolvem a aplicação e/ou necessidade de um novo combustível sustentável.

Para entender e identificar as possíveis matérias-primas e consequentemente as trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis foram necessários estudos da literatura acadêmica com o auxílio do Google Scholar, onde empregou-se neste trabalho a metodologia do *roadmap* – ferramenta de análise para a prospecção do cenário de maturidade das tecnologias selecionadas. Neste estudo em específico, optou-se por utilizar o *roadmap* de Mawhood et.al.(2015), onde é demonstrado em forma de figura as matérias-primas disponíveis e os processos de refino para produção de combustíveis renováveis na aviação, o objetivo é a identificação das trajetórias tecnológicas.

Após identificar as rotas tecnológicas pelos *roadmaps*, foi necessário classificar cada tecnologia em níveis para que se fosse possível entender o quão perto ou longe as mesmas estão de ser comercializadas.

A ferramenta utilizada para a avaliação das tecnologias que permitiu definir os níveis de maturidade foi o *Technology Readiness Levels* (TRL). Essa ferramenta foi introduzida em meados de 1970 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e as análises realizadas através da utilização desta escala facilitam o gerenciamento e o entendimento das oportunidades e riscos das tecnologias analisadas, além de permitir analisar o status e a viabilidade técnica e de mercado.

A métrica desta metodologia é composta por 9 níveis, sendo o mais baixo (TRL 1) relativo à pesquisa básica e o mais alto (TRL 9) um indicativo de que a tecnologia já está em uso para operação em larga escala.

A partir disso, foi utilizado neste trabalho uma adaptação dos níveis TRL, projetando as perspectivas para o cenário dos biocombustíveis.

Por fim, para medir correlações de discrepância entre atributos presentes nos biocombustíveis e nos combustíveis fósseis, foi elaborado uma escala de *Likert* através da análise dos pontos fortes e fracos apresentados no decorrer do presente artigo.

Este trabalho – objetivando abordar o atual cenário do nível de maturidade das tecnologias para biocombustíveis de aviação e as diferentes etapas em que se encontram é, portanto, um exercício de prospecção tecnológica.

Estudos de Prospecção constituem a ferramenta básica para a fundamentação nos processos de tomada de decisão em diversos níveis na sociedade moderna. O propósito dos estudos de prospecção não é desvendar o futuro, mas sim delinear e testar visões possíveis e desejáveis para que sejam feitas, hoje, escolhas que contribuirão da forma mais positiva possível, na construção do futuro. Tais visões podem ajudar a gerar políticas de longo-termo, estratégias e planos que dispõem circunstâncias futuras prováveis e desejadas em um estreito alinhamento. (MAYERHOFF, 2008).

O termo prospecção tecnológica designa atividades de prospecção centradas nas mudanças tecnológicas, em mudanças na capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação. Visa incorporar informação ao processo de gestão tecnológica, tentando prever possíveis estados futuros da tecnologia ou condições que afetam sua contribuição para as metas estabelecidas. (COELHO et. al. 2003).

O mundo está em constante mutação e o ser humano pode experimentar diferentes reações, frente às mudanças que se apresentam. Tais reações podem, muitas vezes, determinar o seu sucesso ou o seu fracasso dentro do onde tais mudanças ocorreram. O mesmo se aplica às organizações, sejam elas de pequeno ou grande porte, de natureza pública ou privada. Segundo Godet (1997), há quatro atitudes possíveis a serem tomadas frente às mudanças tecnológicas: 1) atitude passiva, na qual a organização apenas sofre as consequências das mudanças; 2) atitude reativa, na qual a organização reage após o fato; 3) atitude pré-ativa, na qual existe uma preparação da organização para as mudanças; e 4) atitude pró-ativa, na qual a organização promove as mudanças. A utilização dos métodos de prospecção tecnológica pode demonstrar uma atitude pré-ativa, no sentido de que a busca por informações acerca das mudanças possíveis no futuro ou já em curso constitui, por si só, uma forma de preparação para tais mudanças. Uma atitude pró-ativa está relacionada à capacidade e à iniciativa da organização para promover ou conduzir as mudanças, e, para tanto, serão necessários estudos de prospecção para se obter uma previsão das condições futuras e uma projeção das consequências das possíveis ações a serem tomadas (MAYERHOFF, 2008).

Há três tipos de abordagens passíveis de serem empregadas na tarefa de prospectar o futuro: 1) através de inferências, que projetam o futuro através da reprodução do passado, dentro de certos limites, desconsiderando descontinuidades ou rupturas; 2) através da geração sistemática de trajetórias alternativas, com a construção de cenários possíveis; ou 3) por consenso, através da visão subjetiva de especialistas (MAYERHOFF, 2008).

Bahruth et al. (2006), apresentam quatro fases distintas para o processo de Prospecção Tecnológica: 1) fase preparatória, na qual ocorre a definição de objetivos, escopo, abordagem e metodologia; 2) fase pré-prospectiva, na qual é realizado o detalhamento da metodologia e o levantamento da fonte de dados; 3) fase prospectiva, que se refere à coleta, ao tratamento e à análise dos dados; e 4) fase pós-prospectiva, que inclui a comunicação dos resultados, a implementação das ações e o monitoramento (MAYERHOFF, 2008).

Os métodos de prospecção, por sua vez, podem ser classificados em três grupos principais: 1) o monitoramento, através do qual promove-se o acompanhamento sistemático e contínuo da evolução dos fatos e na identificação de fatores portadores de mudança; 2) os métodos de previsão, através da qual são elaboradas projeções baseadas em informações históricas e modelagem de tendências; e 3) os métodos baseados na visão, que se baseia em construções subjetivas de especialistas e sua interação não estruturada (MAYERHOFF, 2008).

Neste trabalho, optou-se por utilizar, como base teórica, conceitual e metodológica, uma abordagem da economia da inovação que relaciona dois instrumentos, segundo suas funções no processo de investigação aqui desenvolvido:

- a) Para identificar as tecnologias relevantes para o mercado, utilizou-se o *technological roadmap*, já que este permite analisar e definir os níveis de incerteza das diferentes tecnologias relacionadas à produção de biocombustíveis de aviação.
- b) Para avaliar – a partir da seleção tecnológica resultante do procedimento anterior – o nível de maturidade das tecnologias-candidatas aos mercados de biocombustíveis de aviação foi utilizado o TRL, que fornece uma hierarquia descritiva do nível em que cada tecnologia se encontra.

Por meio dos *Roadmaps* selecionados e do Technology Readiness Level (TRL), será demonstrado um panorama geral do estado atual das tecnologias

emergentes, seu nível de maturidade tecnológica, barreiras e oportunidades e a busca pela aprovação segundo o *Initiative Combustíveis Commercial Aviation Alternative* (CAAFI).

Neste contexto, apresentam-se a lógica de construção dos dois instrumentos acima citados, para, em seguida, realizar o trabalho empírico.

O estudo foi realizado a partir de pesquisa bibliográfica, visando identificar os estudos e a literatura acadêmica sobre *Roadmaps* e *Technological Readiness*, de modo a justificar sua aplicação enquanto instrumentos de investigação. Portanto, a abordagem teórico-conceitual utilizada para definir quais são as tecnologias dos biocombustíveis que possuem maior possibilidade de entrar no mercado é composta por três partes; os *TR* e o TRL e o sistema de certificação, sétimo nível do TRL.

As fontes de dados utilizadas para elaboração do trabalho se deram através de diversos projetos, publicações e estudos citados nas referências deste mesmo arquivo.

4.1. Technology Readiness Level

No cenário atual, a capacidade de um produto ser desenvolvido adentrando ao mercado de forma eficaz é crucial para uma empresa se manter competitiva. Saber identificar as possibilidades tecnológicas promissoras alinhadas com seus objetivos é uma competência de grande importância para as empresas e órgãos.

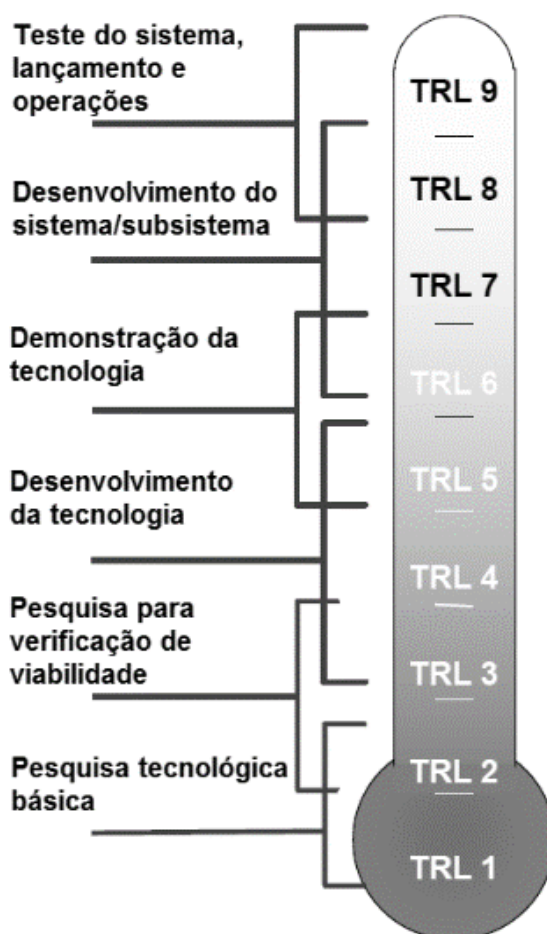
Uma das ferramentas utilizadas para a avaliação de tecnologias que permite definir o seu nível de maturidade designa-se por TRL. Introduzida em meados de 1970 pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), é utilizada para avaliação tecnológica designada por níveis de prontidão do desenvolvimento, para avaliar o avanço dos vários projetos de biocombustíveis.

O TRL permite analisar, em termos das trajetórias tecnológicas potenciais para um novo produto ou processo, seus respectivos status e viabilidades técnicas e de mercado, por meio de uma escala TRL (*Technology Readiness Levels*).

As análises realizadas através da utilização da escala TRL facilitam o gerenciamento e o entendimento das oportunidades e riscos das tecnologias analisadas. Nesse sentido, é utilizada uma métrica para avaliação do grau de maturidade das tecnologias dos biocombustíveis, considerando a incorporação de seu desenvolvimento em seus sistemas e subsistemas. Essa métrica é composta

por 9 níveis, sendo o mais baixo (TRL 1) relativo à pesquisa básica e o mais alto (TRL 9) um indicativo de que a tecnologia já está em uso para operação em larga escala, conforme mostra figura abaixo.

Figura 1 – Esquema da escala de níveis de maturidade do TRL



Fonte: NASA, 2000.

No presente trabalho, foi utilizada uma adaptação dos níveis TRL demonstrados na figura acima, projetando as perspectivas para o cenário dos biocombustíveis que pode ser analisada no quadro abaixo.

Tabela 1: Esquema da escala de níveis de maturidade do TRL dos biocombustíveis

Nível	Descrição da TRL	Perspectiva
1	Princípios Básicos	Matéria-prima e processos dos princípios básicos identificados
2	Conceitos de tecnologia	Matéria-prima e identificação dos processos

	formulados	completos. - Amostra em escala de combustível laboratorial a partir de matéria-prima produzida
3	Prova de Conceito	- Análise do balanço energético realizado para avaliação ambiental inicial. - Propriedades do combustível básico validado
4	Avaliação Técnica Preliminar	- Sistema de performance e integração dos estudos - Propriedades de especificação avaliadas
5	Processo de Validação	Dimensionamento do laboratório para a planta piloto
6	Avaliação Técnica em larga escala	Testes de certificação ASTM realizados: avaliação das propriedades aptas, testes na parte quente da turbina e em outros componentes
7	Certificação/Aprovação do combustível	Combustível listado nas normas internacionais - Modelo de negócio validado para produção
8	Comercialização	- Contratos garantidos de compra de companhia aérea - Avaliação GHG independente específica de plantas realizadas em conformidade com a metodologia internacionalmente aceita.
9	Capacidade de produção estabelecida	Operação de usina, em larga escala

Fonte: CAAFI, 2014

Os níveis de maturidade dos combustíveis descritos na tabela acima fornecem uma visão tecnológica e comercial com base no avanço do desenvolvimento, teste e certificação de combustíveis alternativos. Os níveis de 1 a 4 referem-se à pesquisa baseada em laboratório e desenvolvimento, 5 modelos-piloto, 6 e 7 instalações de demonstração de grande escala e certificação de combustível ASTM (*American Society for Testing and Materials*), 8 o desenvolvimento de oportunidades de negócios viáveis e avaliação de gases de efeito estufa e o 9 refere-se à operação da primeira planta comercial.

Além do uso da escala TRL como uma ferramenta de gestão de risco, ela possui também a finalidade de comunicação para os decisores políticos estabelecerem o uso dos combustíveis que estão em fase de P & D visando sua determinação sobre a participação das agências governamentais, universidades e laboratórios de acordo com o papel de suas organizações. Onde a sua produção, além de ser uma ótima ferramenta para identificar as fontes de investimento público e privado, também visa demonstrar em qual cada agente deve investir.

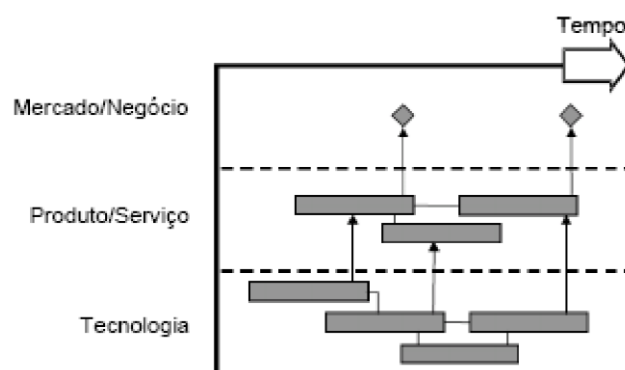
Segundo Mawhood (2015), os biocombustíveis em geral, têm demorado de três a cinco anos para progredir um TRL. Embora os dados específicos para as taxas de progressão de biocombustíveis de aviação ainda sejam limitados, os três primeiros combustíveis que obtiveram a certificação ASTM levaram de um a cinco anos para concluir o processo (correspondente a FRL 6). A partir dessas observações, espera-se que as tecnologias emergentes biojet até 2020 tenham significativas progressões.

4.2. *Technological Roadmap*

Também presente como ferramenta de suporte, o *Technological Roadmap* (ora adiante, TR), fornece a estrutura necessária para auxiliar a análise dos gargalos tecnológicos além de reproduzir o cenário para a tecnologia ser empregada. No caso, o TR será utilizado para entender, dentre as diferentes opções tecnológicas de biocombustíveis, qual ou quais seriam as mais relevantes. É, portanto, uma ferramenta de análise para a prospecção do cenário de maturidade das tecnologias que permite a integração das organizações com o mercado, os produtos e as tecnologias, a partir da estruturação, do desdobramento, da comunicação e de um prospecto do ambiente (PHALL *et al.*, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2013).

Diversas formas de representação são utilizadas, e a aproximação mais comum é a apresentada na figura abaixo:

Figura 2 - Esquema típico de um *Roadmap* Tecnológico



Fonte: PHAAL *et. al.* (2004)

Neste modelo, a camada superior se relaciona com a proposta da organização, onde seu direcionamento inclui abordagens relacionadas a mercado,

negócios, clientes, competidores, indústria, objetivos, estratégias, etc. A camada intermediária compõe-se do elo entre a proposta (objetivo da organização) e seus recursos, já a inferior compreende os recursos que serão desenvolvidos em função da demanda oriundas das camadas superiores. Engloba ainda as tecnologias e competências a serem criadas, parcerias a serem utilizadas, infraestruturas que já foram ou serão desenvolvidas, recursos financeiros e os planos de P&D da organização.

Os *roadmaps* podem ser particularmente úteis no atual cenário, no caso das matérias-primas renováveis, já que os processos e produtos se encontram em desenvolvimento e competição para a construção de uma nova indústria.

Nem sempre os *roadmaps* se encaixam satisfatoriamente dentro das categorias identificadas e podem conter elementos de mais de um tipo, tanto em termos de finalidade quanto de formato, resultando em formas distintas. De acordo com a Sandia National Laboratories (2005), os processos do *roadmap* tecnológico podem ser elaborados em três fases, onde a primeira envolve a atividade preliminar, a segunda fase corresponde ao desenvolvimento do *roadmap* tecnológico e a terceira diz respeito ao acompanhamento e utilização do método.

Há diversas maneiras gráficas que um *roadmap* pode assumir, dentre elas:

- Múltiplas camadas: este é o formato mais utilizado para área de tecnologia, ele apresenta uma série de camadas, tais como produto, mercado e tecnologia. Isto permite a evolução em cada camada a ser explorada, simultaneamente com as camadas dependentes além de facilitar a integração entre as mesmas.
- Barras: possui a vantagem de simplificar e unificar as produções para facilitar a comunicação e integração como suporte ao *roadmap*, sendo exibidos em forma de um conjunto de barras, onde cada uma representa uma camada ou subcamada.
- Mesas: utilizado em alguns casos, em que o desempenho pode ser quantificado, ou possuir atividades agrupadas em períodos de tempo específicos os *roadmaps* podem ser expressos através de tabelas, que relacionam o tempo em comparação ao desempenho.
- Gráficos: quando o desempenho do produto ou tecnologia pode ser quantificado, o *roadmap* pode ser expresso como um simples gráfico, em que

são feitos, normalmente, um para cada subcamada. Esse tipo de gráfico também pode ser chamado de curva de experiência.

- Representação pictórica: para comunicar a integração de tecnologia e planos alguns *roadmaps* podem dispor de uma estrutura mais criativa, através de representações pictóricas.

Conforme mencionado por Phaal, Farrukh e Probert (2001), a gama de possíveis combinações decorrentes dos tipos de *roadmaps*, em que proposições e tipos de formatos são combinados (figura 6), podem ser parcialmente atribuídas à falta de normas claras e aceites ou protocolos para a sua construção. Todavia, considera-se que este caso reflete também a necessidade de ajustar o método, adequando-se na situação necessária, em termos de recursos disponíveis, finalidade de negócio, fontes de informação existentes, entre outros.

4.3 Technological Roadmaps para o Caso dos Biocombustíveis de Aviação

Uma vez que as preocupações com as mudanças climáticas e as medidas que vêm sendo adotadas no mundo devem surtir impacto direto na atividade industrial, o crescimento de investimentos no setor de tecnologias e produtos menos poluentes acrescidos de estratégias ligadas a buscas por menores dependências das matérias primas atualmente utilizadas, fazem com que as oportunidades para o desenvolvimento de uma indústria baseada em matérias-primas renováveis (MPR) sejam vistas com grande importância no mercado.

O TR, assim como já justificado no item de Metodologia, é uma das ferramentas de gestão da inovação que orienta a reflexão e a elaboração de estratégias em novas tecnologias, fornecendo um modo de identificar, avaliar e selecionar alternativas tecnológicas que podem ser empregadas para responder aos problemas do presente e do futuro.

Como referências foram escolhidos dois *roadmaps*: de Albright e Kappel (2003) e o de Phaal, Farrukh e Probert (2003) com a finalidade de demonstrar a maturidade tecnológica geral dos processos envolvidos na produção dos biocombustíveis de aviação. Nos exercícios prospectivos há sempre o risco de se limitar à geração de um documento final que traduz apenas a visão de momento. Com isso, o *roadmap* MPR ultrapassa os limites da empresa e pode atingir o seu

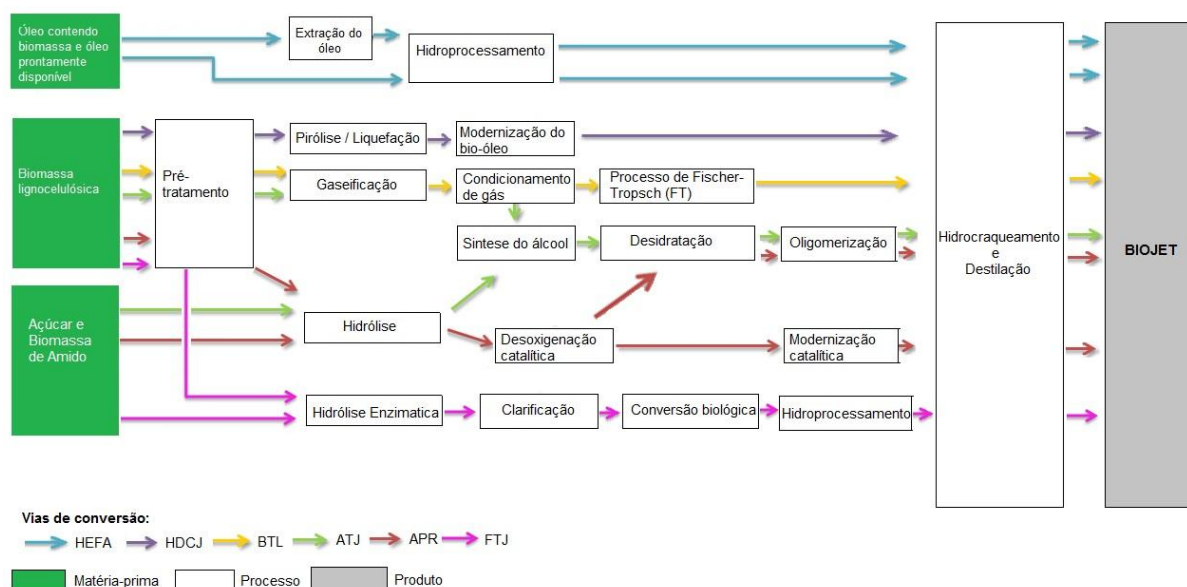
objetivo de ser uma plataforma de discussão do problema, uma vez que um grande número de tecnologias vem sendo desenvolvidas, possuindo a capacidade de produzir combustível *biojet*.

A fim de identificar as famílias de tecnologias com potencial para aplicações em curto prazo, obedeceram-se os seguintes critérios de triagem: evidência de esforços para o progresso da certificação internacional; prova da intenção de desenvolver um *drop-in jet fuel* (adequado para mistura com o querosene de petróleo) e a capacidade de processar matérias-primas lignocelulósicas.

O *TR* de Mawhood (2015) busca identificar os caminhos de conversão com potencial para a produção em escala comercial de biocombustíveis no prazo de 5 a 10 anos. Esse exercício identificou seis caminhos de conversão, sendo esses: hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA), biomassa em líquidos (BTL), Celulósico Despolimerizado hidrotratado para combustível de aviação (HDCJ), álcool para combustível de aviação (ATJ), fermentação para aviação (FTJ) e fase aquosa reforma (APR).

Uma visão geral dos processos de produção envolvidos para cada um destes percursos é ilustrado no *Roadmap* abaixo:

Figura 3 - Caminhos de conversão para biocombustíveis¹.



Fonte: Mawhood et.al.(2015).

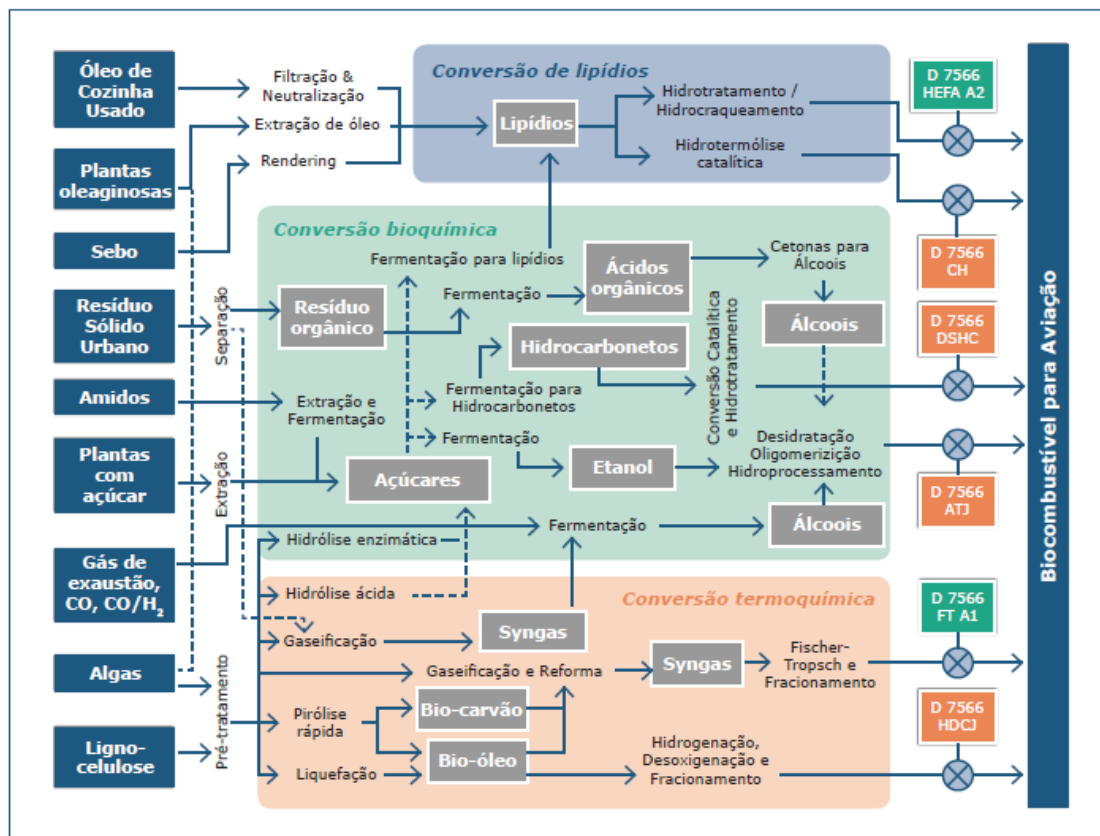
¹ HEFA = hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos. HDCJ = Celulósico Despolimerizado hidrotratado para combustível de aviação. BTL = biomassa em líquidos. ATJ = álcool para aviação. APR = fase aquosa reforma. FTJ = fermentação para aviação.

Após verificação das matérias-primas e dos processos de refino para produção de combustíveis renováveis na aviação, foram identificadas várias rotas (*pathways*). Os requisitos de certificação são estabelecidos internacionalmente segundo a ASTM D7566, para o uso em aviação comercial contendo um anexo especial para cada processo de produção de combustível alternativo aprovado. A Figura abaixo apresenta um panorama das rotas identificadas pertinentes no cenário brasileiro, incluindo a designação e o status do processo de aprovação da ASTM.

Identificamos que dois dos processos de produção final de combustível de aviação já estão aprovados enquanto os outros ainda estão sob a análise no Comitê de Combustíveis Emergentes da ASTM. Após o pré-tratamento, as matérias-primas possíveis são submetidas a diferentes processos de conversão, geralmente semelhantes aos de refinarias de petróleo.

Figura 4 - Caminhos identificados para a produção de biocombustível sustentável de aviação no Brasil²

² HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados. CH – Hidrotermólise Catalítica. DSHC – Fermentação direta de Açúcares para Hidrocarbonetos. ATJ – Álcool para combustível de aviação. FT – querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsch. HDCJ – Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustível de aviação.



Fonte: CORTEZ, L. A. B (2013)

Com diversas tecnologias, processos e matérias-primas sendo desenvolvidas, torna-se necessário uma padronização e qualificação das mesmas para o atendimento da demanda global de forma unificada e com padrões mínimos de qualidade.

Ao analisar o conteúdo dos *roadmaps*, conclui-se que, além de um forte programa de P&D, é fundamental analisar todo o processo através das ferramentas disponíveis para que o tomador de decisão consiga determinar os esforços, quantidade de recursos financeiros e humanos que serão serem investidos e quais benefícios futuros no desenvolvimento de cada produto.

4.4 Escala de Likert

De acordo com Selltiz et al. (1967), o tipo de escala somatória mais frequente usado em alguns estudos segue o modelo criado por *Likert*, na década de 1930, e recebeu o nome de seu autor: escala de *Likert*. Nessa escala os sujeitos devem responder a cada item, por meio de vários graus de acordo ou desacordo.

Entre as desvantagens da utilização da escala *Likert*, está o fato de que, apesar de ordenar indivíduos por meio da “favorabilidade” de sua atitude com relação a determinado objeto, não apresenta uma base para dizer quanto um indivíduo é mais favorável que outro nem para medir a quantidade de mudança, depois de certa experiência (SELLTIZ et al. 1967).

Contudo, a escala também possui diversas vantagens em seu uso com relação a outros tipos de escala: permite o emprego de itens que não estão explicitamente ligados à atitude estudada; apresenta facilidade quanto a sua elaboração e construção; tende a ser mais precisa que as outras, uma vez que a precisão de uma escala aumenta na medida em que aumenta o número de possíveis respostas alternativas (possui geralmente 5 alternativas de resposta); permite maior amplitude em cada item; é mais homogênea e aumenta a probabilidade mensuração de atitudes unitárias, além de basear-se em dados empíricos relacionados às respostas. (SELLTIZ, 1967; RAGAZZI, 1976).

A escala de verificação de *Likert*, ou escala somatória, consiste em uma série de afirmações relacionadas com o objeto pesquisado, isto é, representa várias assertivas sobre um assunto. Os respondentes não apenas concordam ou não com as afirmações, mas também informam o grau de concordância ou discordância, onde é atribuído um número a cada resposta, que reflete a direção da atitude do respondente em relação a cada afirmação. "Aos vários graus de concordância / discordância são atribuídos números para indicar a direção da atitude do respondente. Geralmente, os números utilizados variam de 1 a 5, ou -2, -1, 0, +1, +2. O conjunto de números utilizados não faz diferença em função das conclusões a que se quer chegar. O importante é que se atribua corretamente os números às respostas de afirmações positivas e negativas" (Fauze, 1996). As escalas de *Likert* são simples de construir e permitem obter informações sobre o nível dos sentimentos dos respondentes, que não precisam se restringir ao simples concordo/ discordo usado por outras escalas.

Embora o uso de escalas com outro número de itens, diferente de cinco, representem uma escala de classificação, quando esta não conter cinco opções de resposta, não se configura uma escala *Likert*.

5. TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

As Trajetórias Tecnológicas surgem para resolução de problemas no âmbito do paradigma tecnológico. Tal paradigma em análise é o biocombustível para aviação e suas trajetórias tecnológicas referem-se às diferentes rotas para a sua produção.

Um grande número de tecnologias vem sendo desenvolvidas, no entanto, muitas delas são inapropriadas para a produção a curto prazo ou em grande escala de biocombustíveis. A fim de identificar famílias de tecnologias com potencial para *pathways* (possíveis rotas tecnológicas) o presente trabalho analisou as tecnologias selecionadas por Mawhood que apresentaram esforços ativos para o progresso de certificação internacional; prova da intenção de desenvolver um '*drop-in jet fuel*' (adequado para mistura com o querosene de petróleo) e a capacidade de processar matérias-primas lignocelulósicas.

Depois de identificadas as matérias-primas a serem utilizadas nas diferentes trajetórias tecnológicas, o segundo passo é analisar as tecnologias de refino. As tecnologias de processamento analisadas que podem ser utilizadas para a produção de biocombustíveis para aviação incluem: gaseificação, pirólise, liquefação, hidrólise e hidrólise enzimática e extração de óleo. Todas essas tecnologias, segundo relatório elaborado, tem potencial para a produção de biocombustíveis para aviação.

As trajetórias tecnológicas são compostas pelas diferentes etapas, incluindo: a matéria prima, pré-tratamento, conversão e o processo de produção específico de combustível para aviação. Produzir esses biocombustíveis, para atender a demanda referente à baixa emissão carbono das companhias, é um incentivo para o crescente aumento de trajetórias tecnológicas. Na busca de aprimorar as rotas existentes, as matérias primas utilizadas e as tecnologias de conversão necessitam de muita atenção. Se fazendo necessário realizar um estudo destes elementos que irão definir a melhor trajetória para o desenvolvimento dos biocombustíveis no setor.

No Brasil, a criação do programa de etanol em 1975 não só ajudou na redução da dependência de combustíveis fósseis como também modernizou a agricultura brasileira, tornando o País um exportador líquido de produtos agrícolas.

Em razão de condições climáticas favoráveis associadas à abundância de terras, o Brasil possui forte relevância em investimentos de longo prazo, P&D, um setor privado empreendedor, uma forte tradição agrícola, atuando entre os principais produtores e exportadores mundiais de muitos produtos como: carnes, cana-de-

açúcar, soja, café, milho, algodão, frutas tropicais, etc. Além da disponibilidade significativa de terras já desmatadas para agriculturas existentes, diversos fatores contribuem para que o Brasil fique em uma boa posição na perspectiva de suprimento de matérias-primas, uma vez que sejam implementadas políticas em busca do desenvolvimento de programas de biocombustíveis para a aviação onde sejam cumpridas as responsabilidades perante pré-requisitos sustentáveis.

Trajetórias tecnológicas são, por definição, os caminhos que determinada tecnologia percorre, até que esta se torne realmente viável do ponto de vista econômico e de processamento (DOSI, 1982). O principal obstáculo que as possíveis novas rotas tecnológicas têm que enfrentar é em relação à sua produção de maneira sustentável. Desta forma, os desafios impostos são: (a) a não competição com os alimentos, (b) a redução de emissão de carbono, (c) o não desmatamento para obtenção de espaço agricultável para produção de matéria prima e (d) não gerar impactos ambientais e sociais (HENDRICKS et al., 2011).

Os combustíveis alternativos para aviação vêm ganhando espaço e novas tecnologias estão sendo estudadas pelo mundo. Porém, é importante ressaltar que o sucesso da implementação dos biocombustíveis *drop-in* dependerá essencialmente de sua trajetória tecnológica, ou seja, combinar matérias primas, com tecnologias de refino, respeitando os critérios de produção sustentável e de forma economicamente viável (KOHLENER et al., 2014).

No relatório desenvolvido pela parceria entre Boeing, Embraer, FAPESP e UNICAMP - Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação - o objetivo inicial é avaliar no Brasil os desafios relacionados à agricultura, tecnologias de conversão, logística, variáveis econômicas e sustentáveis associadas ao desenvolvimento e comercialização de biocombustíveis para aviação. Para realizar a avaliação, as parcerias envolvidas, realizaram workshops pelo Brasil, nas cidades de São Paulo (FAPESP), Piracicaba (ESALQ/USP), Campinas (FEQ/UNICAMP), Belo Horizonte (FIEMG), Brasília (Embrapa Agroenergia), Rio de Janeiro (ANP) e São José dos Campos (DCTA) com o propósito de identificar as novas trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis aéreos (BOEING et al. 2013).

Dentro do paradigma dos biocombustíveis para aviação, as matérias-primas com potencial para a produção de biocombustíveis são as plantas que contenham açúcares, amido e óleo, além de resíduos como lignocelulose, resíduos sólidos urbanos e gases de exaustão industrial (BOEING et al. 2013).

Estas matérias primas combinadas a tecnologias específicas de refinamento agroindustriais, podem fornecer valores energéticos satisfatórios, necessários para a indústria de aviação. Porém, é válido lembrar que os esforços em P&D para aperfeiçoar os processos, são necessários para redução de custos e melhoria da logística das culturas envolvidas.

6. TRAJETÓRIAS: CORRELACIONANDO COM MATÉRIAS-PRIMAS E TECNOLOGIAS DE REFINO

Os biocombustíveis alternativos para aviação estão ganhando espaço e novas tecnologias estão sendo estudadas pelo mundo. Porém, é importante ressaltar que o sucesso da implementação dos biocombustíveis *drop-in* dependerá essencialmente de sua trajetória tecnológica, ou seja, combinar matérias-primas com tecnologias de refino, respeitando os critérios de produção sustentável e de forma economicamente viável (GAMARRA *et. al*, 2015).

6.1. Matéria-prima

Um dos primeiros passos para obter uma trajetória tecnológica é mapear as possíveis matérias-primas que podem ser utilizadas e sua disponibilidade, a qual em termos tanto de quantidade de produção, quanto de diversidade de fontes, não é uma grande preocupação no caso do Brasil. A maioria de suas culturas dependem de água de chuva e, tradicionalmente, não requer irrigação. O território extenso tem áreas de climas temperado, subtropical e tropical, o que permite o cultivo de diferentes plantas, adequadas para biocombustíveis para aviação (BOEING *et al.*, 2013).

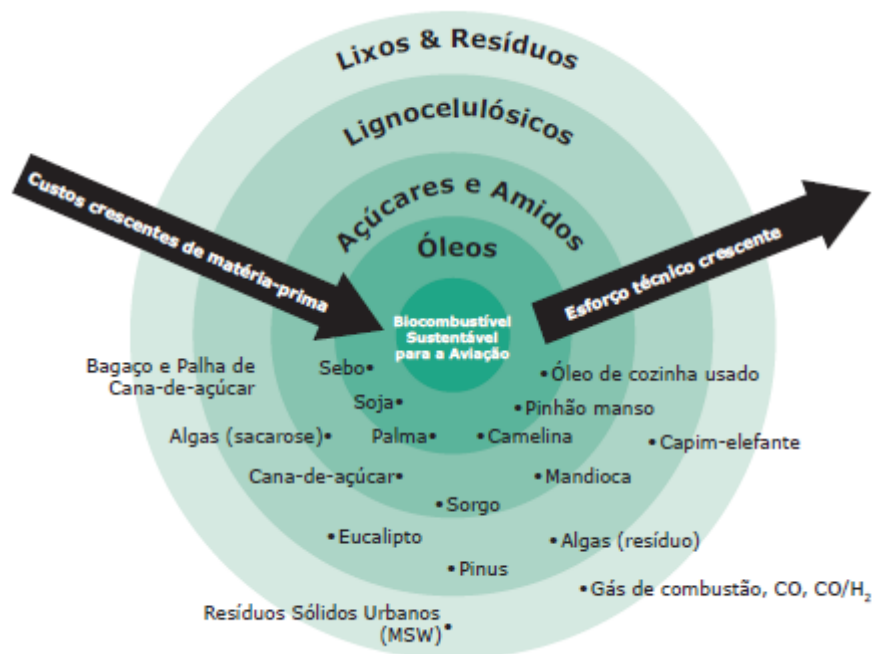
Porém, tão importante quanto a disponibilidade de matéria-prima é a sua capacidade de atender aos requisitos de sustentabilidade. Portanto, será preciso estabelecer plataformas de pesquisa de sustentabilidade de matérias-primas no longo prazo para estudar o impacto das práticas florestais e agrícolas em solo, água e biodiversidade (BOEING *et al.*, 2013).

As matérias-primas potenciais mais promissoras para o desenvolvimento inicial de biocombustíveis para aviação no Brasil são plantas que contêm açúcares e

amidos; culturas tais como oleaginosas e as que produzem materiais lignocelulósicos e, por último, resíduos urbanos e industriais (BOEING *et al.*, 2013).

O relatório desenvolvido pela parceria entre Boeing, Embraer, FAPESP e UNICAMP, Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação exhibe um resumo das matérias-primas disponíveis e quão perto elas estão e podem ser convertidas em biocombustível sustentável para aviação (Cf. Figura 5).

Figura 5 - Matérias-primas e sua posição relativa segundo custos e esforços técnicos para serem convertidas em biocombustível para a aviação.



Fonte: BOEING *et al.* 2013

Segundo o estudo, esta figura demonstra de maneira resumida que, quanto mais perto do centro, mais cara é a matéria-prima, porém mais fácil ou menos cara é a tecnologia de conversão.

Outro estudo realizado por GAMARRA *et. al* (2015) mostra os aspectos positivos e negativos de cada matéria-prima citada (Cf. Quadro 2).

Tabela 2 - Aspectos positivos e negativos das matérias-primas.

Matéria-prima	Aspectos positivos	Aspectos negativos
---------------	--------------------	--------------------

Óleo de cozinha usado	- Alta variabilidade na qualidade e composição dependendo da área de coleta; - Resíduo.	- Variabilidade pode ser reduzida pelo pré-tratamento; - Danos em equipamentos, aumentando a corrosão; - Transporte (matéria-prima/bicombustível).
Sebo	- Redução no impacto da poluição; - Produção anual no Brasil 600.000 toneladas; - Matéria prima social.	- Disponibilidade limitada; - Transporte (matéria-prima/bicombustível); - Competição com indústria de cosméticos.
Plantas Oleaginosas	- Sistema de rotações; - Variabilidade de oleaginosas não alimentares; - Algumas oleaginosas resistem a falta d'água	- Algumas espécies oleaginosas competem com espaço agricultável.
Resíduos Sólidos Urbanos	- Evitam preocupações com segurança alimentar; - Custo zero – biomassa.	- Problemas com coleta e separação; - Custo alto – transporte.
Gases de Exaustão	- Não competem com alimentos; - Não competem com terra agricultável; - Amplamente encontrado; - Aproveitamento de resíduos nocivos.	- Problemas com coleta e transporte.
Plantas com açúcares	- Alto rendimento; - Brasil tem grande experiência na produção e conversão da cana de açúcar.	- Competem por terras agricultáveis.
Amido	- Alto rendimento; - Praticidade de plantio e colheita; - Custo social	- Competem por terras agricultáveis.
Lignocelulose	- Resíduos agroindustriais, agroflorestais – normalmente; - Abundantes e não alimentares; - Disponíveis localmente, geralmente em grandes quantidades.	- Barreiras tecnológicas; - Ampla variedade na composição requer um número maior de processos de conversão.
Algas	- Alto rendimento; - Biomassa não alimentar; - Crescem rápido; - Não necessita de grande espaço para cultivo; - Absorvem quantidades consideráveis de CO₂, quando cultivadas em céu aberto.	- Avanços na tecnologia de extração e no modo de cultivo; - Sistemas de cultivo influenciam no custo final da matéria-prima; - Consumo considerável de água doce no cultivo e extração; - Produção em grande quantidade.

Fonte: GAMARRA et. al (2015)

6.2. TECNOLOGIA DE REFINO

As tecnologias do *roadmap* de Mawhood et. al (2015) podem ser agrupadas em três grupos, aos quais derivam sucessivos processos que dão origem aos biocombustíveis, sendo eles: conversão de lipídios, conversão bioquímica e conversão termoquímica (BOEING, et. al. 2013). Pela conversão de lipídios, tem-se o processo HEFA, tendo como matérias primas: óleo vegetal, sebo e óleo de

cozinha usado. O uso destas matérias primas implica no nicho de mercado de fornecimento aos aeroportos, pois as refinarias tendem a permanecer mais perto do campo (BOEING, et. al. 2013).

Na conversão termoquímica, compreende-se os processos HDCJ, BTL e ATJ., apresentando como matérias primas eficientes as lignocelulosicas, que estão disponíveis em quantidades suficientes para atender o mercado de biocombustíveis e são ambientalmente sustentáveis. O processo BTL possui um custo elevado devido às condições específicas das reações (alta temperatura e pressão), exigindo grandes reatores para diminuir os custos (BOEING, et. al. 2013).

Na conversão bioquímica, inclui os processos APR e FTJ, utilizando diversas matérias primas como resíduos sólidos urbanos, gás de combustão rico em monóxido de carbono e açúcares fermentáveis, produzindo alcoóis como produto intermediário que, posteriormente, são transformados em biocombustíveis pelas tecnologias específicas de conversão agroindustriais.

As tecnologias assinaladas para o processo conversão apresentam potencial considerável para produção de biocombustíveis aéreos. A tabela 3 apresenta-se um apanhado geral aspectos positivos e negativos das tecnologias específicas de conversão agroindustriais promissoras para o desenvolvimento dos biocombustíveis.

Tabela 3 - Aspectos positivos, negativos e custos aproximados das tecnologias.

Tecnologia	BTL	ATJ	HEFA	HDCJ	FTJ	APR
Status de certificação	Certificado pela ASTM para misturas <50%	Não certificado	Certificado pela ASTM, permitindo 50% de mistura	Não certificado	Certificado pela ASTM para misturas <10%	Não certificado
Pontos Fortes	Várias usinas-piloto em operação; Plantas comerciais para produzir já em desenvolvimento na Europa; Existem alguns acordos de compra do combustível com companhias aéreas; Flexibilidade de matérias-primas.	Em fase final de aprovação; Custo baixo de matéria-prima; Grande potencial de produção; As fábricas de demonstração para o processo ATJ estão sendo desenvolvidas e as operações devem começar antes de 2020; Utilização de matérias-primas de baixo custo; Utilização de resíduos como matéria-prima; Baixo consumo de hidrogênio; Diversa gama de subprodutos que podem gerar receita; Há colaborações com companhias aéreas e organizações militares para desenvolver combustíveis, e alguns acordos de compra de combustível.	Está em processo comercial; Alta produtividade, sobretudo as plantas oleagenosas; Tecnologia comprovada e praticada comercialmente; Utilização de resíduos	Em fase de aprovação pela ASTM; Várias plantas de demonstração em operação; Planos para ampliar ainda mais a tecnologia em desenvolvimento; Algumas colaborações com companhias aéreas para desenvolver combustíveis; Custo baixo de matérias-primas; Maximiza a produção de óleo, com rendimentos 80% em peso.	Algumas plantas piloto em operação; Uso em alguns voos comerciais	Algumas instalações de demonstração em operação; Nenhuma incompatibilidade com as especificações ASTM identificadas por testes preliminares

Desafios	A atratividade desse combustível para o transporte rodoviário pode desincentivar a produção de combustíveis para aviação.	Tecnologias para converter álcoois em combustíveis menos desenvolvidos; O custo da produção de álcool é alto, particularmente para as matérias-primas lignocelulósicas; Alto custo com transporte; Limitações em infraestrutura; Desejável obter enzimas com alta eficiência, para tornar a hidrólise enzimática economicamente viável; Microorganismos difíceis de manejar em escala industrial. Potencial concorrência com a produção de combustíveis para transportes rodoviários;	A biomassa (sebo) apresenta problemas com coleta; Os custos com a matéria prima pode representar 70% do custo total; Essa tecnologia compete com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel Brasileiro; Matérias-primas utilizadas como as plantas oleagenosas competem com a produção de alimentos	Custos operacionais elevados associados ao hidrocessamento; Matérias-primas lignocelulosicas apresentam custo alto na coleta e transporte até a unidade de processamento; Limitações em infraestrutura.	Dados muito limitados sobre os processos de produção. Um pequeno número de desenvolvedores.	Um único desenvolvedor; Não foram identificados planos para instalações comerciais; Não foram identificadas colaborações com companhias aéreas.
Exemplos de indústrias	Air Liquide, Axens, CEA, ForestBtL, KIT Bioliq, NSE Biofuels, Rentech, Solena, ThyssenKrupp Industrial Solutions	BiocChemtex, Cobalt, Gevo, Lanzatech, Swedish Biofuels, ZeaChem	Embraer, GE.	Envergent (Ensyn/Honeywell UOP), Dynamotive Energy Systems, Renewable Oils Corporation, Licella, KiOR.	Amyris	Virent

Fonte: Elaboração própria com base em GAMARRA et. al (2015)

7. RESULTADOS

7.1. Hidroprocessamento de ésters e ácidos graxos (HEFA) – TRL 7/8

O HEFA é aprovado pela ASTM permitindo 50% de mistura no combustível convencional de aviação e já está em fase de demonstração/comercialização. Porém, o custo das matérias-primas pode representar mais de 70% do custo total dos combustíveis. Neste caso, a principal lacuna desta tecnologia é comercial. O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel brasileiro, bem estabelecido no mercado desde 2005, compete pelas mesmas matérias-primas – plantas oleaginosas, sebo e óleo de cozinha usado – que o HEFA.

7.2. Biomassa para líquidos (BTL) – TRL 7/8

A gaseificação e a síntese de Fischer-Tropsch das matérias-primas de carvão e gás natural são tecnologias maduras e vêm sendo implantadas industrialmente por várias décadas. O BTL derivado do carvão tem sido utilizado em misturas de até 50% com combustível convencional para aviões comerciais desde 1999 e como combustível puro (combustível puro / não misturado) desde 2010, sem problemas técnicos significativos. A aplicação do processo à biomassa é relativamente novo e ainda não foi totalmente otimizado. Considera-se que as tecnologias de gaseificação, em particular, exigem um desenvolvimento significativo, especialmente no que se refere ao manuseamento de matérias-primas.

O processo de BTL requer uma adaptação menos extensiva devido à similaridade composicional do gás de síntese produzido a partir de biomassa e combustíveis fósseis.

Esperava-se que o BTL se desenvolvesse rapidamente nos anos 2000, mas o progresso foi mais lento do que o previsto. Grandes desenvolvedores cancelaram alguns projetos para esse biocombustível.

Vários projetos de demonstração e escala piloto estão em andamento, com projeções de datas de conclusão que vão de 2015 a 2018. A maior delas visa produzir 100.000-200.000 toneladas de combustível por ano.

O BTL foi certificado para misturas de até 50% com combustível de aviação derivado do petróleo desde setembro de 2009. Na escala TRL, ele encontra-se no nível 7 movendo-se em breve para o nível 8. O que corresponde a um combustível já certificado e listado em padrões internacionais, para o qual as plantas de demonstração

estão em operação, e as primeiras instalações em escala comercial estão sendo desenvolvidas. Há também alguns contratos de compra comercial em andamento.

Cenários de preços futuros indicam que combustíveis BTL poderão tornar-se competitivos com o querosene entre 2020 e 2040, desde que se possa ter matérias-primas de baixo custo

7.3. Fermentação para Aviação (FTJ) – TRL 5/7

Esta tecnologia tem o potencial de utilizar açúcares lignocelulósicos como matéria-prima, porém, atualmente a maiorias dos esforços de pesquisa estão centrados em açúcares simples (por exemplo, cana de açúcar, sorgo doce, milho) uma vez que estas são mais fáceis de fermentar, já que esta tecnologia utiliza a fermentação anaeróbica para produzir o combustível.

O desenvolvimento do FTJ está sendo liderado por uma joint venture entre as empresas Amyris e Total, onde a Amyris tem uma parceria com a GOL linhas aéreas que pretende utilizar pelo menos 1% desse biocombustível em sua frota a partir de 2016.

A primeira planta comercial está localizada em Brotas, no Brasil, e opera desde dezembro de 2012 possuindo uma capacidade de produção de até 50 milhões de litros/ano.

Essa tecnologia foi certificada pela ASTM com misturas de até 10% adicionadas de combustível derivado do petróleo, em Junho de 2014.

Esses fatores sugerem que o caso FTJ é uma tecnologia promissora.

7.4. Álcool para Aviação (ATJ) – TRL 4/6

Os processos técnicos individuais empregados na via ATJ são considerados maduros, sendo largamente utilizados em aplicações petroquímicas comerciais (Güell et al., 2012). Plantas piloto e de demonstração estão sendo desenvolvidas.

Uma força chave do ATJ é a sua flexibilidade para processar álcoois sintetizados por uma vasta gama de métodos e a partir de diversas matérias-primas. Várias parcerias visando a produção de combustível de aviação estão sendo feitas entre empresas que sintetizam álcoois e aqueles que os convertem em combustíveis.

Esta tecnologia está em fase de aprovação final pela ASTM e seu estágio de maturidade está entre os níveis que variam de 4 a 6, onde 4 representa combustíveis que ainda estão sendo submetidos a avaliação técnica, e o 6 corresponde a tecnologias que já estão em fase de demonstração sendo testadas para fins de certificação.

A literatura mostra que em 2014-2015 essa tecnologia deveria ter atingido o nível 7 no TRL e o nível 8 até 2020, sendo possível um TRL 9 se a tecnologia progredir bem. O alto custo da síntese de álcool é considerado a maior barreira à comercialização de combustíveis ATJ, porém a flexibilidade do caminho para a utilização de álcoois gerados por uma gama mais ampla de processos é considerada uma característica importante.

7.5. Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustível de aviação (HDCJ) – TRL 5/6

A Pirólise de biomassa foi implantada em escala piloto desde os anos 1970 e em escala de demonstração desde os anos 1990, mas o interesse em atualizar os bio-óleos gerados para combustível de transporte só se desenvolveu no final de 1990 (Jones & Male, 2012; Venderbosch & Prins, 2010; Bauen et al., 2009).

Nos últimos anos houve o fechamento de várias plantas piloto deste tipo de tecnologia e o cancelamento de alguns projetos propostos devido às fracas condições de mercado. A comercialização lenta dessa tecnologia é responsabilidade, em parte, pela falta de demanda do mercado por bio-óleo não refinado.

A empresa Licella é a principal desenvolvedora de HDCJ. Possui uma planta piloto e duas instalações em escala de demonstração operando sua tecnologia.

O nível de maturidade do HDCJ está entre 5 e 6 e encontra-se em processo de aprovação pela ASTM.

7.6. Fase Aquosa Reforma (APR) – TRL 5/6

A fase aquosa reformação (APR) é um processo catalítico que converte açúcares vegetais solúveis em uma mistura de água, hidrogênio e intermediários químicos (tais como álcoois, cetonas, ácidos, furanos, parafinas e outros hidrocarbonetos oxigenados). Estes podem por sua vez ser convertidos em

combustíveis e produtos químicos de alto valor (Virent, 2014A; Tompsett, Li & Huber, 2011; Bauen et al., 2009).

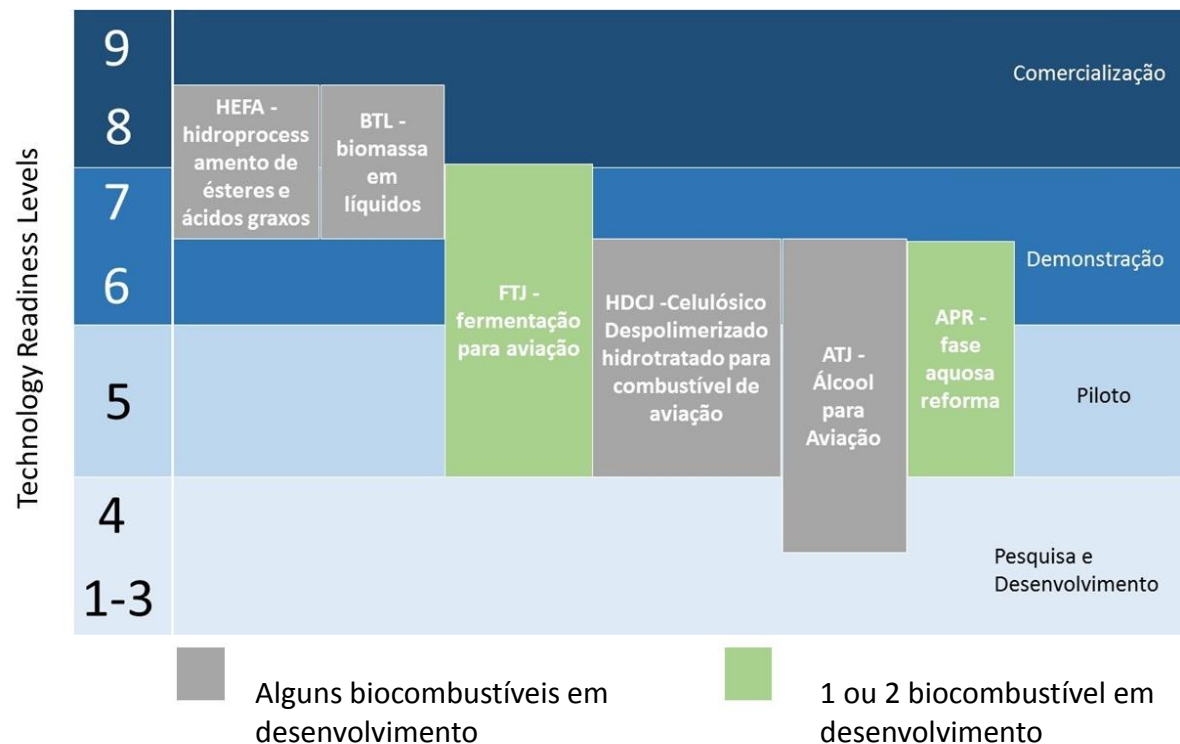
A tecnologia APR está em desenvolvimento de plantas piloto e a empresa Virent é a única organização que atingiu um estágio avançado de desenvolvimento de este combustível de aviação. A empresa possui duas instalações de demonstração com capacidade de produção anual combinada de quase 60.000 litros de combustíveis e produtos químicos (Qantas, 2013; Virent, 2013). Seu combustível está sendo testado pela ASTM e poderá ser pré-comercializado até 2020. Porém, o progresso depende quase que inteiramente da única empresa que está desenvolvendo biocombustível com essa tecnologia, a Virent.

O TRL permite a comparação da maturidade das tecnologias e analisando alguns artigos, observamos que a via mais desenvolvida, de biomassa para líquidos, está sendo apoiada por vários desenvolvedores de combustíveis e encontra-se nos estágios iniciais de comercialização (FRL 7-8). Outras vias de conversão de combustível estão nas fases de demonstração e piloto (4-6), com algumas sendo conduzidas por apenas uma ou duas companhias e, portanto, mais vulneráveis a empresas individuais em dificuldades.

Estudos demonstram que as tecnologias de biocombustíveis podem progredir até 2 níveis de TRL até 2020, permitindo que a maioria das vias examinadas por este estudo possam atingir as primeiras etapas de comercialização. No entanto, o ritmo de extensão da nova implantação vai depender do desenvolvimento da política para biocombustíveis. Além disso, a escala de TRL foi projetada para considerar a maturidade dos processos de produção de biocombustíveis individuais e isoladamente, ignorando possíveis interações e codependências.

A Escala de Prontidão de Combustível da CAAFI foi utilizada para comparar a maturidade das vias de curto prazo, com classificação TRL do 1 ao 9. A figura abaixo resume os resultados deste exercício:

Figura 6 – Nível de maturidade das tecnologias segundo o TRL



Fonte: MAWHOOD et. al (2015).

Com base na análise TRL, o HEFA e o BTL são os mais avançados dos percursos (TRL 7-8). O HEFA é considerado pelo TRL 7-8, porque ele está listado em normas internacionais e existem alguns contratos de compra de combustível com as companhias aéreas. No entanto o desenvolvimento em larga escala está limitado pelo elevado custo da matéria-prima. O BTL em 2020 deverá entrar para o nível 9, porém custos elevados, baixas receitas, intensidade de capital e incertezas tecnológicas do BTL apresentam uma proposta de investimento difícil no momento.

7.7. Escala De *Likert*

De acordo com Selltiz et. al. (1967), o tipo de escala somatória mais utilizada em diversos estudos segue o modelo criado por *Likert*, recebendo o nome do autor. Nessa escala os sujeitos devem responder a cada item, por meio de vários graus de acordo ou desacordo.

Entre as desvantagens da utilização da escala *Likert*, está o fato de que, apesar de ordenar indivíduos por meio da “favorabilidade” de sua atitude com

relação a determinado objeto, não apresenta uma base para dizer quanto um indivíduo é mais favorável que outro nem para medir a quantidade de mudança, depois de uma certa experiência (SELLITZ et al.1976)

No presente trabalho, elaboramos a escala de *Likert* com o objetivo de medir correlações de discrepância entre atributos presentes nos biocombustíveis e nos combustíveis fósseis. Através da análise dos pontos fortes e fracos apresentados no decorrer do presente artigo, obtivemos um panorama das principais divergências entre os tópicos abordados interpretados por nós.

A escala *Likert* possui algumas vantagens em seu uso se comparada a outras escalas: permite o emprego de itens que não estão explicitamente ligados a atitude estudada; apresenta facilidade quanto a sua construção e elaboração, tende a ser mas precisa que outras uma vez que a precisão de uma escala aumenta de acordo com maior número possível de respostas alternativas, privilegiando a escala *Likert* que possui geralmente cinco alternativas, é mais homogênea e aumenta a probabilidade de mensuração das atitudes unitárias, além de basear-se em dados empíricos relacionados a respostas dos sujeitos (SELLITZ,1967; RAGAZZI,1976).

Analizando o custo de ambos combustíveis sabemos que atualmente, nenhuma das trajetórias tecnológicas identificadas é economicamente competitiva em comparação ao combustível convencional, já utilizado na aviação, e as tecnologias identificadas como promissoras exigem um longo prazo até possuírem um custo oportuno para produção em grande escala, o que dá ao biocombustível um alto custo (nível 5 da escala). Porém, produzir biocombustíveis ambientalmente sustentáveis é uma tarefa árdua na qual medidas distintas vêm sendo tomadas em prol de seu desenvolvimento sendo exigidos esforços em P&D, políticas públicas, apoio legislativo e parcerias entre empresas, não apenas do ramo de aviação, bem como as de refinarias o que torna os quesitos: barreiras tecnológicas e disponibilidade para utilização, fatores de relevância na comparação entre os combustíveis. Há uma diversidade de matérias-primas disponíveis para diferentes tecnologias de biocombustíveis, o que também o difere dos combustíveis fósseis, que tal como todos os recursos naturais, apresenta elevado nível de escassez.

Considerando a crescente emissão de dióxido de carbono (CO₂) causada pelo transporte aéreo, outro fator relevante é a questão dos combustíveis alternativos que aparecerem como uma solução promissora para a diminuição dos impactos ambientais no quesito sustentabilidade, apresentando discrepância de:

bastante sustentável para os biocombustíveis (nível 4) e pouco sustentáveis para os combustíveis fósseis (nível 1).

Tabela 4 – Atributos dos Biocombustíveis e combustíveis fósseis por meio da escala *Likert*

Atributos	Biocombustíveis					Combustíveis Fósseis				
Custo	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Sustentabilidade	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Barreiras Tecnológicas	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Disponibilidade para utilização	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Diversidade de matéria-prima	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 Pouco	2 Razoável	3 Mediano	4 Bastante	5 Extremo
---------	------------	-----------	------------	-----------

Fonte: Elaboração própria.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando avaliar a maturidade de várias tecnologias em prol da conversão de biomassa para líquidos em biocombustível, o presente trabalho com base em uma extensa revisão de literatura, avaliou algumas tecnologias no que se refere ao seu nível de preparação para o combustível, compatibilidade com as infraestruturas existentes, progresso na certificação internacional, viabilidade econômica e custos de oportunidade da produção que resultam no bioquerosene “*drop in*”.

Todavia, produzir biocombustíveis ambientalmente sustentáveis não é algo simples e sua adequação é de extrema importância. Adquirir tal sustentabilidade é um processo que depende de critérios regionais, nacionais e internacionais.

A necessidade de buscar alternativas para o setor da aviação se torna cada vez mais intensa, uma vez que a grande participação dos combustíveis no custo das companhias, projeção de crescimento do setor aéreo, instabilidade dos preços do petróleo e a busca por soluções para a redução de emissões de GEE se tornam cada vez mais nítidas e relevantes no panorama mundial. A longo prazo, as incertezas do preço do combustível convencional, juntamente com os benefícios de carbono associados ao uso de biocombustíveis, devem fazer da aviação um setor

parceiro e partidário para o desenvolvimento de biocombustíveis (SGOURIDIS, 2012).

Dentre as mais diversas tecnologias analisadas, encontramos combustíveis nas fases (TRL 1-3), diretamente ligadas ao princípio da pesquisa e desenvolvimento. Outras conversões encontram-se no estágio de demonstração e piloto (TRL 4-6), e as mais desenvolvidas tecnologias vêm sendo apoiadas por desenvolvedores de combustíveis, estagnadas ainda nos processos iniciais de comercialização (TRL 7-8). As projeções mensuradas ao longo do presente artigo sugerem que as tecnologias dos biocombustíveis podem progredir até dois níveis até 2020, atingindo em boa parte, pelo menos as etapas iniciais de comercialização, mesmo que a execução e a extensão da sua implantação dependam de uma série de outros fatores.

As políticas de apoio, fundamentais para impulsionar a indústria de biocombustíveis, tem o objetivo também de atrair investimentos, acelerar o crescimento da indústria e fornecer benefícios no longo prazo da economia. Não havendo a 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, que são recomendações de políticas específicas que irão estimular a criação de combustíveis sustentáveis para a indústria aeronáutica (AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2009).

O progresso tecnológico, produção e distribuição em escala comercial dos biocombustíveis associado a incentivos públicos, trarão grandes chances de ocorrer a viabilização das tecnologias. Com isso, no futuro, o setor poderá atingir parte de seus desafios sustentáveis, obter maior estabilidade associado a redução da dependência do petróleo e proporcionar o desenvolvimento socioeconômico dos países.

9. REFERÊNCIAS

- Arup URS, & E4tech. (2013). **Advanced Biofuel Feedstocks – An Assessment of Sustainability**. UK: ARUP URS & E4tech.
- ALMEIDA, Vilson. **SENSORES INERCIAIS FOTÔNICOS PARA APLICAÇÕES AEROESPACIAIS: NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA**. 2008

ATAG – AIR TRANSPORT ACTION GROUP. **Beginner's Guide to Aviation Biofuels**. ATAG: Geneva, Suíça. 2009. Maio de 2009 web version. Disponível em: <www.atag.org>

Acesso em 12 de agosto de 2016.

ABPPM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINHÃO MANSO. **Conhecendo o Pinhão Manso**. 2009. Disponível em: Acesso em: 16 out. 2010.

BOEING, EMBRAER, FAPESP, UNICAMP. **Plano de voo para biocombustíveis no Brasil**: Plano de ação. Brasil, 2013.

BORGES, Hermes Vieira. **Camelina, a planta sensação do biodiesel nos EUA**. 2007. Disponível em: Acesso em: 31 out. 2010.

CAAFI. (2014). Fuel Readiness Level. Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative. Disponível em: http://www.caafi.org/information/pdf/FRL_CAAFI_Jan_2010_V16.pdf. Acesso em 12 de agosto de 2016.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Biocombustíveis aeronáuticos**: Progressos e desafios. CGEE: Brasília, 2010.

DOSI, Giovanni. Technological paradigmas and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, North Holland, v. 11, p. 147-162, 1982.

ECYCLE. **IPCC**: a organização mundial por trás dos relatórios climáticos. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/1877-ipcc-a-organizacao-mundial-por-tras-dos-relatorios-climaticos.html>> Acesso em 23 de agosto de 2016.

ELKINGTON, J. (1998). **Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business**. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Panorama Energético das Américas e Caribe**. São Paulo, 2010.

GAMARRA, Jorge et. al. **AS NOVAS TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS DOS BIOCMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO**. Rio Grande do Sul, 2015.

GEGG, PER et. Al. **The market development of aviation biofuel: Drivers and constraints**. Journal of Air Transport Management, v. 39, p. 34-40.

GELLER, Howard Steven. **Revolução Energética. Políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.

GAZZONI, Marina. **TAM planeja voar com bioquerosene de pinhão manso**. 2010. Disponível em: Acesso em: 3 out. 2010.

HAWKINS, Ed. **Global temperatures: 75 years after Callendar**. National Centre for Atmospheric Science-Climate. Climate Lab Book, 22 abr. 2013

HENDRICKS, Robert C. et. al. **Aviation Fueling: A Cleaner, Greener Approach. International Journal of Rotating Machinery.** August 2011.

IATA – INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **Report on Alternative Fuels.** Montreal, Canadá. 2010.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Environmental Report 2010,** 2010

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Oil Market Report.** Paris, França. 2009.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers.** Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf> Acesso em: 09 de setembro de 2016.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Sumário para os Tomadores de Decisão do Quinto Relatório de Avaliação (2014).** Traduzido por Magno Castelo Branco e Karla Sessin-Dilascio (Iniciativa Verde). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275892398_Sumario_para_os_Tomadores_de_Decisao_do_Quinta_Relatorio_de_Avaliacao_2014> Acesso em 24 de agosto de 2016

KINDER, James D.; RAHMES, Timothy. **Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (Bio-SPK).** Jun. 2009.

Lee, D. S., Lim, L. L., & Owen, B. (2013). **Bridging the aviation CO2 emissions gap: why emissions trading is needed.** Manchester, UK: Centre for Aviation Transport and the Environment, Manchester Metropolitan University.

LOUGHBOROUGH UNIVERSITY. **The Market development of aviation biofuel: drivers and constraints.** Disponível em: <<https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/14481/3/JATM-GeggBuddlson.pdf>> Acesso em: 12 de agosto de 2016.

MCKINSEY & COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil.** Relatório Consolidado. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2010.

MOON, T.; SMITH, J.; COOK, S. C. **Technology Readiness and Technical Risk Assessment for the Australian Defence Organisation. In: Proceedings of the Systems Engineering, Test & Evaluation Conference, SETE 2005 - A Decade of Growth and Beyond.** Brisbane, Australia. 2005.

PARAYIL, Govindan. Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization. **Research Policy,** Singapore, v. 32, p. 971-990, August 2003.

RAYOL, Caroline Amaral. Biocombustíveis como alternativa viável. **Revista AgroAnalysis.** Fundação Getúlio Vargas. Edição Nº 09 - Volume 30. Set. 2010.

RIBEIRO, Aline. **TAM vai testar avião movido a pinhão**. 2010. Disponível em: Acesso em 13 de setembro de 2016

SIMÕES, André Felipe. **O transporte aéreo no contexto de mudanças climáticas globais**: Emissões de CO₂ e alternativas de mitigação. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

SWAFEA – **Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy in Aviation**. Final Report 2011. França. 2011.

TAM – LINHAS AÉREAS MARÍLIA. **Engeneering Report**: ER-A320-73-001. Experimental Flight Using Biofuel on Engine #2 of Aircraft PR-MHF in GIG (Galeão – RJ). São Paulo, 2010.

UNICAMP, **Flight Path to Aviation Biofuels in Brazil: Action Plan**. São Paulo. Boeing, Embraer, Fapesp, 2013.

SELLTIZ, C ;JAHODA M .; DEUTSCH, M.; COOK, S. W. Métodos de pesquisa nas relações sociais. Tradução por Dante pereira leite. São Paulo: Herder/EDUSP, 1967.

PHAAL, Robert., FARRUKH,Clare J.P., PROBERT, David R.. Customizing roadmapping.**Research Technology Management**;47(2):26–37, 2004.

PHAAL, Robert., FARRUKH,Clare J.P., PROBERT, David R..T-plan: fast start to technology roadmapping. Cambridge: Institute of Manufacturing; Cambridge University, 2001.

RINNE, M. Technology roadmaps: infrastructure for innovation. **Technological Forecasting & Social Change**, vol. 71, p. 67–80, 2004.

WEBLER, T.; LEVINE, D.; RAKEL, H.; RENN, O. A novel approach to reducing uncertainty: the group Delphi, *Technological Forecasting & Social Chang* 39 (1991) 253–263.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Ecoefficiency: creating more value with less impact**. Geneva: WBCSD, 2000. 32 p.

WRIGHT, James Terence Coulter.; GIOVINAZZO, Renata Alves. Delphi – Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**. São Paulo: FIA/FEA/USP, V.01, n.12, p.54-65, 2ºtrim, 2000.

YORK, Jeffrey G; VENKATARAMAN, S. The entrepreneur–environment nexus: Uncertainty, innovation and allocation. **Journal of Business Venturing**, 25, 449–463, 2010.