

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO GOIÁS  
ESCOLA POLITÉCNICA  
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

**VIABILIDADE DOS COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS ATUAIS E POSSÍVEIS  
ALTERNATIVAS**

GOIÂNIA  
2021

PEDRO HENRIQUE STAHLHOEFER

**VIABILIDADE DOS COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS ATUAIS E POSSÍVEIS  
ALTERNATIVAS**

Artigo Científico apresentado à Pontifícia  
Universidade Católica de Goiás como  
exigência parcial para a obtenção do grau de  
bacharel em Ciências Aeronáuticas.  
Professor Orientador: M. Sc. Raul Francé  
Monteiro.

GOIÂNIA  
2021

PEDRO HENRIQUE STAHLHOEFER

**VIABILIDADE DOS COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS ATUAIS E POSSÍVEIS  
ALTERNATIVAS**

GOIÂNIA-GO, 07 de dezembro de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**

Me. Raul Francé Monteiro \_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_  
Assinatura Nota

Esp. Andre Luiz da Silva Fernandes \_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_  
Assinatura Nota

Esp. William de Carvalho Xavier \_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_  
Assinatura Nota

# VIABILIDADE DOS COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS ATUAIS E POSSÍVEIS ALTERNATIVAS

Pedro Henrique Stahlhoefer<sup>1</sup>  
Raul Francé Monteiro<sup>2</sup>

## RESUMO

Levando em consideração a necessidade do uso de combustíveis para que a operação aérea ocorra, este trabalho buscou analisar a viabilidade econômica e ambiental dos combustíveis atualmente utilizados na aviação, demonstrando, inicialmente, suas vantagens e desvantagens. Por meio dos dados levantados, foi possível perceber que há contraindicações bastante relevantes ao uso desses combustíveis, o que fomenta a busca por outros que possam substituí-los. Entre as adversidades encontradas nos combustíveis atuais está a sua matéria-prima, qual seja, o petróleo, fonte de energia não renovável e, portanto, finita. Outra questão envolvendo o combustível fóssil é a degradação do meio ambiente decorrente de sua queima em virtude da emissão de gás carbônico, com graves consequências para o aquecimento global. Deste modo, a pesquisa avalia a possibilidade do uso de biocombustíveis aeronáuticos e de baterias elétricas como fontes de energia, além do hidrogênio. É possível concluir que os combustíveis alternativos são uma demanda necessária e possuem potencial para substituir atualmente utilizados, dependendo, entretanto, de pesquisas e investimentos para sua efetiva implementação na aviação, antes que os danos ambientais alcancem proporções irreversíveis. Este trabalho, quanto à sua classificação científica, é de natureza básica, à medida que busca gerar conhecimento para novas pesquisas, utilizando-se da via bibliográfica para obtenção de mais dados. Seu objetivo é exploratório e sua abordagem, qualitativa.

**Palavras-chaves:** Aviação; Combustíveis fósseis; Meio ambiente; Combustíveis alternativos.

## ABSTRACT

*Considering that air operation needs to use fuel to take place, this study aimed to analyze the economic and environmental viability of the fuels currently used in aviation, initially pointing out their advantages and disadvantages. From data collected, it was possible to notice that there are quite relevant contraindications in the use of these fuels, which arouses the search for others that can replace them. Among the adversities of current combustible is its raw material – petroleum/oil –, a non-renewable and, therefore, finite energy's source. Another issue related to fossil fuel is the environment degradation due to its burning resulting from the carbon dioxide emissions, with serious consequences for global warming. Thus, this research assesses the possibility of using aeronautical biofuels and electric batteries as energy*

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica do Goiás (PUC-GO). pedrohenriquedf00@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestre em Psicologia e Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Professor da Escola de Ciências Exatas e da Computação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Piloto de Linha Aérea – Avião, EC-PREV pelo CENIPA e credenciado SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: cmterfrance@hotmail.com.

*sources, in addition to hydrogen. It is possible to infer that alternative fuels are a necessary demand and have the potential to replace those used today, depending, however, on research and investments so that their effective implementation in aviation takes place, before the environmental damage on planet reaches irreversible proportions. The classification of this study is basic, considering that it seeks to generate knowledge for new studies, using the bibliographic route to obtain more data. Its objective is exploratory and its approach, a qualitative one.*

**Keywords:** Aviation; Fossil fuels; Environment; Alternative fuels.

## INTRODUÇÃO

A aviação, atividade de história centenária, transformou-se em um dos maiores modais de transporte a serviço da humanidade. Com efeito, bilhões de passageiros utilizam aeronaves para se locomover de maneira rápida, eficiente e segura. Com o mundo cada vez mais globalizado, novas tecnologias embarcadas incrementam o *status* das aeronaves e confirmam a aviação como o transporte mais seguro do mundo. Contudo, sabe-se que o setor também amarga os seus gargalos, especialmente os relacionados à questão ambiental associados ao emprego de combustíveis derivados do petróleo, quais sejam, o querosene de aviação (QAv) e a gasolina de aviação (AVGAS). Tal fator traz questionamentos para o mundo moderno, afinal, o uso do petróleo vem sendo questionado por se tratar de um recurso não renovável e em virtude dos prejuízos causados à camada de ozônio, contribuindo, de efeito, para o aquecimento global.

Apesar de indiscutível a relevância da aviação, mesmo em um cenário indesejável de uso desse tipo de combustível como fonte de energia, não se pode ignorar que o setor emite cerca de dois por cento de toda emissão de gás carbônico do planeta, valor bem expressivo. Não se deve ainda desprezar que essa matéria-prima é finita e, portanto, suas reservas tendem a diminuir gradativamente, provocando aumento do seu valor de compra.

A discussão em torno dessa problemática é inevitável e, para que o setor aéreo não se veja em dificuldades relacionadas à fonte de energia, é necessário que se busquem novas alternativas energéticas para a continuidade da atividade.

Não obstante essa busca já tenha sido iniciada, sabe-se que não é tarefa fácil, pois alguns requisitos de qualidade e eficiência devem ser observados para a certificação e uso. Estudos em andamento já oferecem dados que podem ser

pinçados por esta pesquisa, permitindo uma análise do que está posto e das possíveis alternativas mais atraentes. É imperioso, antes, identificar as matérias-primas mais econômicas, seguras e que não degradem o meio ambiente.

Assim, o estudo se justifica por se tratar de tema bastante atual e ainda carente de atenção, levando-se em conta que aborda a qualidade de vida no planeta Terra, que vem sendo continuamente degradado ao longo dos últimos anos. De acordo com a indústria norte-americana Boeing (2013), se nada for feito a respeito dos combustíveis aeronáuticos, com a projeção crescente do setor aéreo, o modal será responsável por três por cento de toda emissão de gases do planeta até 2030. Portanto, é necessário que haja a substituição desses combustíveis o mais rapidamente possível.

Quanto à classificação científica, este trabalho se define como de natureza básica, pois não possui efeitos imediatos, ao tempo em que pretende gerar conhecimento que possa ser utilizado em outras pesquisas. O objetivo do estudo é de caráter exploratório com a finalidade de adquirir mais conhecimentos a respeito dos combustíveis atualmente utilizados, além de abordar as possibilidades de sua substituição por outros alternativos. Quanto à abordagem, a pesquisa se classifica como qualitativa, em que o ambiente natural será a fonte direta para obtenção de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados. Adota-se como procedimento de estudo a via bibliográfica, por meio do levantamento de informações em publicações como livros, revistas, artigos científicos etc., buscando sempre a veracidade das fontes e dados (VIANNA, 2013).

## **1 COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS ATUAIS**

Fatos históricos demonstram que a aviação viveu a decolagem de suas primeiras máquinas mais-pesadas-que-o-ar a partir de 1903 ou 1906, conforme descrição de Monteiro (2002), quando ele se refere aos feitos dos irmãos Wright e de Alberto Santos-Dumont. Em pouco mais de 100 anos, novos elementos tratam da decolagem de grandes aviões com capacidade para transportar mais de 800 passageiros, oferecendo autonomias superiores a dezoito horas de voo seguido (CASAGRANDE, 2021). Se as primeiras máquinas voadoras foram possíveis graças ao desenvolvimento dos motores a petróleo, no século XXI o tempo cuida de

estabelecer a necessidade de motores que não tragam prejuízos ao meio ambiente e que sejam adaptados às necessidades do atual contexto social.

Tendo em consideração os dados citados no Relatório Final de Acidentes Aeronáuticos do CENIPA (2002), infere-se que o modal aéreo é o transporte mais seguro do mundo, já que apresenta menos de um óbito para cada milhão de passageiros embarcados. Para que essa segurança se mantenha em níveis elevados, a escolha dos combustíveis deve ser bastante minuciosa e não colocar em risco a operação das aeronaves, tampouco a segurança dos passageiros. Com isso, alguns requisitos de qualidade devem ser seguidos à risca, tendo em vista que qualquer substância que venha a adulterar os componentes do combustível pode causar danos expressivos.

Várias ações cotidianas utilizam-se da combustão para serem realizadas, o que vai desde o acender de uma vela, a queima de carvão para gerar eletricidade, até o uso de combustíveis para ignição de um motor. De acordo com a Oxford Languages (s.d.), “combustão é a combinação química rápida de uma substância com oxigênio, envolvendo a produção de calor e luz.” Para Turns (2013), combustão é a transformação de energia armazenada em energia térmica, fazendo com que ela possa ser utilizada de diversas formas. Para a aviação, os motores aeronáuticos usufruem da energia liberada na queima de combustíveis misturados com o ar, a partir das câmaras de combustão (HOMA, 1998).

Portanto, o uso de combustível atualmente é indispensável, já que em sua maioria os motores aeronáuticos trabalham a partir da combustão interna. Para Bazzo (1995), combustível seria qualquer substância que consiga reagir com o oxigênio e liberar energia em forma de calor, podendo ser identificada na forma sólida, como o carvão, na forma líquida, como a gasolina, e na forma gasosa, como o gás natural. Assim, os combustíveis podem ser divididos em renováveis, que, de acordo com Pacheco (2006), vêm da natureza e causam o mínimo impacto possível ao meio ambiente, e não renováveis, que seriam energias que quando esgotadas não se revigoram, como a energia nuclear.

Entre as fontes de energia não renováveis, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2020), o petróleo é a mais utilizada no Brasil. Ele tem como base uma combinação de hidrocarbonetos obtidos através da decomposição de matérias orgânicas, sendo a substância principal os plânctons, que reagem com bactérias em locais com baixo teor de oxigênio. Com a espera de milhões de anos de

decomposição, obtém-se uma substância oleaginosa, que ficou acumulada nas profundezas dos oceanos, dos lagos e mares, e que apresenta grande potencial energético (ANEEL, 2005). O modal aéreo, que busca segurança e eficiência, emprega na maioria de suas aeronaves o petróleo como a fonte primária de seus combustíveis.

Dada a relevância do assunto, alguns quesitos de qualificação devem ser evidenciados para a fabricação dos combustíveis aéreos, que para a Petrobras (2014) são: volatilidade adequada, qualidade antidetonante, mínima formação de resíduos por combustão ou oxidação, não ser agressiva aos componentes do motor, ser estável nas condições de armazenamento, mostrar segurança ao ser manuseada, escoar facilmente sobre altas temperaturas, entre outros. Atualmente, os combustíveis mais utilizados são o Avgas (Aviation gas) e o Qav (querosene de aviação), ambos de origem fóssil.

### **1.1 Avgas e Qav: empecilhos**

O Avgas é o combustível mais utilizado nos motores convencionais a pistão, que possuem ciclo otto, com ignição por centelhas. Esses aviões geralmente são utilizados na aviação de pequeno porte, na aviação agrícola, na categoria privada, na instrução de voo, e em aviões experimentais e esportivos. Em sua composição, usa-se um aditivo chamado etil fluido, que contém chumbo tetraetil para aumentar sua capacidade antidetonante, o que o torna um comburente tóxico e cancerígeno, demandando-se precauções em seu manuseio. Por esta razão, ele acaba sendo evitado na aviação comercial (transporte aéreo regular) que se utiliza de aeronaves de maior porte (*Ibidem*).

Já o querosene de aviação, mais conhecido como Jet Fuel, é utilizado em aeronaves que possuem motores a reação. Ele é um hidrocarboneto parafínico de 9 a 15 carbonos, feito por fracionamento através de destilamento por pressão atmosférica (Petrobras, 2019). As características físico-químicas do querosene são rigorosamente testadas em ensaios laboratoriais feitos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

De acordo com o Inventário de Emissões Atmosféricas da ANAC (2019), cerca de 6 bilhões de toneladas desses dois combustíveis são utilizados todos os anos no Brasil. Com isso, para que a segurança requerida seja atingida, existem sistemas que

garantem a qualidade desses líquidos, abrangendo todo o processo, desde as refinarias até a distribuição nos aeroportos e o abastecimento das aeronaves.

Entretanto, apesar de serem, basicamente, as duas opções disponíveis, esses combustíveis apresentam questionamentos que devem ser levados em conta. O preço é um deles, pois sofre influência da flutuação de valor do barril de petróleo, que, por sua vez, sofre efeitos da política e da economia. Outro elemento desta equação é a variação da moeda de cada país, além de outros problemas imprevisíveis. Também vale ressaltar que não se trata de combustíveis renováveis, como já mencionado, e, portanto, cedo ou tarde, as reservas de petróleo irão se esgotar. Em se tratando, então, de uma substância escassa, de acordo com Cardoso (2009), a tendência é que o preço do barril de petróleo suba ainda mais à medida que as reservas forem diminuindo.

Outro fator a ser observado, mas não menos importante, é o ecológico. De acordo com a Icao (s.d(b)), cerca de 2% de toda emissão mundial de gás carbônico de origem humana é proveniente do setor aeronáutico, e, de acordo com projeções sugeridas pela mesma empresa, se nada for feito para mitigar esse problema, a tendência é que o modal aéreo cresça ainda mais nos próximos anos e que até 2030 a quantidade de emissão de dióxido de carbono aumente para 3% das emissões mundiais.

Assim, por se tratar de uma preocupação que envolve todo o planeta, foram iniciadas rodadas de discussão visando a proteção ao meio ambiente. Em 1997, foi realizada a III Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, na cidade de Kyoto, no Japão. Tratava-se de um esforço conjunto, logo transformado no “Protocolo de Kyoto” e assinado por 84 países que intentavam uma redução da emissão de gases poluentes na atmosfera do planeta. Entre as metas que se objetivou, estava a redução de gases poluentes na atmosfera. Uma delas determinava a redução de 5,2% dos gases de “efeito estufa” para o período compreendido entre 2008 e 2012 (AGÊNCIA SENADO, 2021).

O órgão regulador à frente da aviação civil mundial é a International Civil Aviation Organization (ICAO) – em português, Organização da Aviação Civil Internacional –, que tem por objetivo o desenvolvimento da aviação, mas também entende a responsabilidade de reduzir o seu impacto quanto à emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre. Composta por 193 Estados-Membros, a OACI, em 2010, criou uma iniciativa para que cada Estado-membro elaborasse um Plano de Ação para

redução de gás carbônico a fim de ajudar, capacitar e entregar ferramentas para cada país agir. Por meio dessa iniciativa, todos os Estados-membros devem desenvolver estratégias a longo prazo sobre as alterações climáticas (ICAO, s.d.(a)).

Em 2015, 195 nações se reuniram para que fosse realizada a vigésima primeira Conferência das Partes das Nações Unidas sobre as mudanças do clima, quando foi elaborado o novo acordo climático global, o Acordo de Paris, assinado em 2016. Por meio deste pacto, foram entregues novas medidas para diminuir o problema climático global, com o objetivo de combater o aumento da temperatura média do planeta, que tende a ser de dois graus Celsius até o fim do século. Entre os setores mais notáveis, estava o da aviação, representado pela ICAO (SOARES, 2018).

Por tratar-se de um assunto tão importante, a ICAO realizou, em 2016, a sua 39ª Assembleia, quando foi aprovada a Resolução A39-3, que deu origem ao Esquema de Redução e Compensação de Emissões da Aviação Internacional, conhecido pela sigla CORSIA, criado com o objetivo de acrescentar empenho para diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE) no setor e limitar todo e qualquer aumento das emissões totais de CO<sub>2</sub> superiores aos níveis impostos pela Organização, fixados pelo ano de 2020 (*Ibidem*).

Ao implementar o plano CORSIA, a Organização, com o intuito de obter melhorias ambientais, implementou ainda uma cesta de medidas mitigatórias composta por: desenvolvimento de novas tecnologias para aeronaves; aperfeiçoamento do controle de tráfego aéreo e do pessoal em solo para obter economia no gasto de combustível durante o taxi e operações em solo; uso de biocombustíveis sustentáveis para toda aviação civil; e adoção de mecanismos de mercado para compensação de emissões visando alcançar as aspirações mundiais (*Ibidem*).

Para executar o esquema, a ICAO efetivou três etapas de desenvolvimento e implementação do CORSIA. A primeira etapa, chamada de 'fase piloto', e a segunda, apelidada de 'primeira fase', têm aplicação do ano de 2021 a 2026 para os Estados-membros que se ofereceram de forma voluntária para o projeto, ou seja, aqueles que pretendem executar ações para manter ou compensar emissões que não ultrapassem a linha de referência indicada pela Organização. O Brasil não se dispôs a participar dessas duas fases. Na etapa final, denominada de 'segunda fase', quase todos os países (à exceção dos menos desenvolvidos, que estão isentos) serão obrigados a fazer compensação das emissões que ultrapassem o limite imposto (ICAO, s.d.(a)).

## **1.2 Compensação de emissões de gases do efeito estufa (GEE)**

Existem diversas maneiras possíveis de se compensar as emissões de gás carbônico expelidos por meio do deslocamento de aviões. Com isso, países e empresas têm se desdobrado para neutralizar os prejuízos decorrentes de tais práticas. Como regra de compensação, pode-se observar o projeto da companhia aérea alemã Lufthansa, que, em parceria com a fundação Myclimate, pretendem reduzir as emissões de GEE, apoiando a sustentabilidade ambiental com uso de energias renováveis e auxiliando projetos como os vistos na Etiópia, onde são instalados painéis solares em vilarejos para que haja a substituição da queima de combustíveis fósseis usados para geração de energia (MYCLIMATE, 2021).

Outra empresa que se voluntariou para auxiliar em processos semelhantes foi a empresa holandesa KLM, que criou um serviço próprio nomeado de CO2ZERO, no qual o passageiro pode contribuir com uma quantia para compensar a seqüela do seu voo ao meio ambiente. A partir de um processo instaurado por seus colaboradores, calcula-se a quantidade de dióxido de carbono emitida em cada voo, levando em conta o modelo da aeronave e a distância a ser percorrida, e gera-se um valor aproximado de emissão de CO<sub>2</sub>, que pode ser doado pelo passageiro. O valor é revertido para ações de proteção ambiental articuladas pela empresa. Com essa medida, a empresa promove o reflorestamento do Panamá, em que as árvores plantadas auxiliam na retirada do gás da atmosfera (KLM, s.d.).

No Brasil, a Gol Linhas Aéreas é uma das empresas que tem trabalhado para amenizar os impactos do CO<sub>2</sub> na atmosfera. A companhia, juntamente com a Moss (plataforma ambiental), auxiliam no combate das emissões por meio de doações feitas pelos seus passageiros. Além disso, a Gol paga com valores de seu próprio caixa as emissões geradas em seus voos que partem de Recife para atender à ilha de Fernando de Noronha, assim como nos voos da rota inversa. Desta maneira, a linha aérea criou a primeira rota carbono neutro do Brasil (GOL, s.d.).

Visto que os combustíveis aeronáuticos utilizados atualmente podem ser bastante degradantes ao meio ambiente, outra solução para o problema, além das compensações de emissões, seria o emprego de outros combustíveis que possuam eficiência, eficácia, características parecidas e viabilidade econômica, mas que, como diferencial, sejam biodegradáveis. Para isso, pesquisas mais aprofundadas devem ser

efetivadas para que se possa avaliar a possibilidade de substituir os combustíveis utilizados hoje em dia (BOEING, 2013).

## **2 COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS**

Com a meta de se evitar a poluição e obter o crescimento neutro em carbono a partir dos gases eliminados pelos motores dos aviões, a indústria aeronáutica vem trabalhando em processos que visam contribuir com este fim. Algumas medidas valem ser ressaltadas, como a melhora na eficiência dos motores para que promovam exaustão mais limpa e possam ser mais econômicos, partindo da hipótese de combustíveis alternativos. As opções viáveis atualmente, e que já contam com estudos, estão o uso de biocombustíveis, o uso de eletricidade e o uso de hidrogênio.

### **2.1 Biocombustíveis e possíveis matérias-primas**

Para Marinho (2012), biocombustíveis são substâncias que derivam de matérias-primas orgânicas, como a cana-de-açúcar e algumas plantas oleaginosas, que, após serem processadas, conseguem ser usadas para obtenção de bioquerosene utilizado em motores à reação. Entretanto, nem toda bioenergia é considerada sustentável. Para que isso de fato ocorra, diversas características devem ser levadas em consideração para que os critérios de sustentabilidade em padrões internacionais sejam atendidos. Entre tais características, estão: não prejudicar a biodiversidade; não concorrer com o setor de alimentos; ser produzida de modo que o solo e o hidrossistema local não sejam afetados, além de adicionar valorização socioeconômicas locais, entre outras (BONASSA, 2014).

Levando em conta que as matérias-primas mais propícias para a fabricação de biocombustíveis são plantas que contêm amido, açúcares e óleo, o Brasil leva algumas vantagens na produção e obtenção destes materiais. Considerando que o território nacional é detentor de uma área territorial longa, com climas favoráveis (temperado, subtropical e tropical), é possibilitado o cultivo de diferentes plantações, que, por meio de estudos, demonstram potencial para dar origem a biocombustíveis. Além disso, por se tratar de um país agrário, maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e segundo maior produtor de soja, é possível que haja uma produção em

grande escala de matérias-primas voltadas ao uso de combustíveis renováveis (BOEING, 2013).

Entretanto, para o êxito na busca por novos biocombustíveis, é necessário ponderar os prós e contras de cada matéria-prima com capacidade para ser transformada em combustível alternativo. A princípio, os fatores mais importantes a serem considerados são o grande potencial de cultivo e produtividade, a possibilidade de obter-se o plantio em terras marginais e ter uma boa composição em óleos graxos. A partir disso, algumas matérias-primas inovadoras foram selecionadas como objeto deste estudo, como o pinhão manso, babaçu, óleo de palmiste e as algas (CGEE, 2010).

### 2.1.1 Etanol

O etanol hidratado é um biocombustível proveniente de moléculas de açúcar (geralmente extraído da cana-de-açúcar) que possui em sua composição entre 95 e 96 por cento de etanol e o restante de água. O seu uso está ligado a aeronaves que se propulsionam por motores convencionais, substituindo assim o AVGAS. Por se tratar de um derivado de uma matéria-prima muito explorada no Brasil, o país foi o primeiro do mundo a usufruir de seu potencial como combustível. Em 2005, a aeronave Ipanema 202, da Embraer, foi a primeira a ser fabricada com a certificação para utilização de motores abastecidos a etanol. Dado o sucesso dessa aeronave que utiliza o composto de álcool, a empresa desenvolveu uma nova versão, o Ipanema 203 (EMBRAER, 2017).

No momento em que se introduziu esse biocombustível, observou-se que seu uso energético renovável diminuiu os impactos ambientais, reduziu os gastos na operação e na manutenção do motopropulsor, oferecendo, portanto, melhor desempenho. Contudo, mesmo após 18 anos, o Ipanema permanece sendo o único avião no mundo a usufruir dessas vantagens (*Ibidem*).

Apesar de atender ao pretendido, no país ainda não há demanda para o seu uso. Mesmo se tratando de um combustível que é altamente usado na indústria automobilística, não é possível que se utilize o etanol disseminado diretamente dos postos, pois ele corre o risco de ser adulterado, trazendo, dessa forma, ameaça para a operação aérea. Sendo assim, seria necessário pontos de abastecimento nos aeroportos. Entretanto, não há, por ora, empresa de distribuição de combustível

aeronáutico que invista na implementação de bases para este tipo de abastecimento para motores convencionais, já que somente o Ipanema é apto a seu uso (SOUZA, 2021).

Outra desvantagem desse biocombustível está na sua densidade, 10% mais pesado que o AVGAS com densidade energética menor. Com isso, para que se mantenha o desempenho do combustível usado atualmente, há um aumento no consumo da aeronave que opere com etanol. Em contrapartida, o consumo não acompanhará a diferença do poder calorífico (cerca de 40% a mais para o AVGAS), já que o álcool produz uma saída de potência maior (COSTA, 2011).

Embora existam essas adversidades, o uso do etanol diminui o impacto ambiental e se mostrou mais econômico em suas atividades, uma vez que seu preço é em média um terço mais barato que o AVGAS, o que leva à redução do custo das operações dos aviões convencionais, como é o caso do Cessna 152, avião usado para treinamento de pilotos em centros de treinamento. Por ser uma aeronave com motor a pistão, seria facilmente convertida para o uso de biocombustível, apesar de ser necessário um investimento de cerca de 12.000 (doze mil) reais para a transição. De acordo com Souza (2021), se houvesse a implantação do etanol nas operações das escolas de aviação civil, haveria uma economia de até 60% do preço do combustível em relação ao custo do AVGAS.

### 2.1.2 Pinhão manso

Uma matéria-prima que vem sendo bastante estudada e possui alto potencial para geração de biocombustíveis é a *Jatropha Curcas*, mais conhecido como pinhão manso, um arbusto de crescimento rápido com alturas normais de dois a três metros, podendo chegar a cinco metros. Entre suas principais características está a quantidade de óleo presente em sua semente e o rápido e fácil cultivo da sua planta (RANUCCI, 2015).

Em se tratando de um vegetal oleaginoso, o pinhão manso possui cerca de 37,5% de óleo em sua composição, podendo assim ser bastante útil para obtenção de energia térmica. Além disso, trata-se de uma planta bastante resistente a climas secos, sendo bem adaptável a solos pouco férteis e terrenos pedregosos e áridos. Outro ponto positivo é que ele uma semente tóxica para muitos animais, inclusive para

o ser humano e, com isso, sua plantação não compete com o ramo alimentício e dificilmente é atacada por pragas (*Ibidem*).

Em 2010, a companhia aérea TAM (atual LATAM), realizou o primeiro voo experimental com utilização de pinhão manso da América Latina. A operação cumpriu um voo de 45 minutos sobre o Oceano Atlântico com a utilização de biocombustível a base de pinhão manso, em uma aeronave da Airbus A320 da empresa. O voo foi realizado com um combustível que continha 50% de querosene da aviação (QAV) e 50% do biocombustível. A partir dessa experiência, foi possível observar uma diminuição de 65 a 80% da quantidade de carbono liberado em um voo comum que utiliza apenas querosene (TERRA, 2010).

### 2.1.3 Babaçu

A *Atallea speciosa*, mais conhecida como babaçu, é uma palmeira pertencente à família das palmáceas, com um lento processo para desabrochar, parte do tronco alta, simples e robusta e folhagem grande, que pode chegar a cerca de três metros de comprimento. Sua altura está entre 10 e 30 metros e de 20 a 50 centímetros de diâmetro do seu caule. A partir do seu oitavo ano de crescimento, começa a dar frutos e, com quinze anos, obtém sua produção plena, encerrando o seu ciclo com cerca de 35 anos (MOREIRA, 2017).

Seu fruto é um coco que pesa entre cerca de 90 e 280 gramas, em que a cada colheita tem entre 3 e 5 cachos e cada cacho produz entre 300 e 500 cocos. O coco de babaçu é basicamente composto por três camadas: o epicarpo (camada mais externa), o mesocarpo (camada intermediária) e o endocarpo (camada mais interna). Além destas três partes, o fruto apresenta amêndoas, composto, em 80% do seu peso, por um óleo, do qual se pode obter o biocombustível. Suas amêndoas são utilizadas também para obtenção de margarina, sabão, cosméticos, glicerina, entre outros subprodutos (*Ibidem*).

Para tanto, a amêndoa do coco do babaçu é o segundo produto não madeireiro mais comercializado no país, havendo cerca de 18 milhões de hectares destas palmeiras espalhadas por diversos municípios do Brasil. Milhares de pessoas estão envolvidas no plantio e extração do produto, avaliado como importante também para subsistência de várias famílias. Além do uso do óleo do coco, o babaçu é responsável por ser a matéria-prima de diversos outros produtos, como carvão vegetal. Com isso,

é possível observar que a sua produção representa um potencial considerável para a fabricação de biocombustível(RUEDA, 2020).

#### 2.1.4 Óleo de palmiste

O óleo de palmiste é um produto do fruto da planta da família *elaeis guineenses*, mais conhecido como dendê, palmeira de origem africana bastante encontrada no Brasil, em especial no litoral sul da Bahia. Através do fruto do dendezeiro, é possível obter dois tipos de óleos: o óleo de palma (azeite de dendê) e o óleo de palmiste. O óleo de palma é bastante utilizado na obtenção de produtos para cosméticos e na alimentação, e o óleo de palmiste, que se diferencia por possuir em sua composição 80% de ácidos graxos, apresenta bastante potencial como matéria-prima para biocombustíveis (RANUCCI, 2015).

A planta – dendezeiro – possui como características tamanho de até 15 metros de altura, folhas com 5 a 9 metros de comprimento, frutos com 2 a 5 centímetros de comprimento e de 3 a 30 gramas de peso. Sua cultura é perene e seu ciclo de vida longo, encerrando-se com cerca de 25 anos (CRUZ, 2016). O óleo produzido e extraído da polpa do seu fruto é o óleo vegetal mais comercializado e consumido do mundo, o que garante uma certa demanda de produção. É importante ressaltar também que se trata de uma cultura que retém grande quantidade de carbono liberada na atmosfera, demonstrando um grande valor no auxílio à compensação de gases (EMBRAPA, 2016).

Após os estudos de viabilidade do óleo de palmiste, o biocombustível que o utiliza mostrou grande potencial para uso em aeronaves. Em 2008, a Virgin Atlantic realizou o primeiro voo com uso do óleo do dendezeiro: uma das quatro turbinas do Boeing 747-400 utilizou o biocombustível. O avião decolou do aeroporto de Heathrow, Londres, e voou por mais de 320 quilômetros até o aeroporto de Schiphol, na Holanda, onde concluiu a operação com êxito (SCIENTIFIC AMERICAN, s.d.).

## 2.2 Avião Elétrico

Outra opção que merece destaque é a do uso de motores elétricos nos aviões, com vistas a não degradar o meio ambiente, além de apresentar maior eficiência e economia. Para isso, a agência norte-americana NASA (Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica) tem desenvolvido diversos estudos para transformar

motores aeronáuticos com o uso de baterias elétricas como fonte de alimentação. O seu maior desafio tem sido aumentar o potencial energético de suas baterias, já que em uma decolagem o somatório de todos os motores do avião deverá utilizar cerca de 200 quilowatts (valor que alimentaria mais ou menos 100 residências americanas). Para gerar tanta energia, será necessário o uso de muitas baterias dentro da aeronave, trazendo o indesejável aumento do peso (NASA, 2019).

Apesar dos empecilhos, a transformação para motores aeronáuticos elétricos traria diversos benefícios, já que se trata de um meio que não geraria emissão alguma de gases e diminuiria bastante a quantidade de ruído gerada pelo modal (outro problema gerado pelos aviões atualmente). Além disso, de acordo com a agência, os motores que usufruem das baterias são bem mais eficientes que os motores a combustão, uma vez que quase toda potência gerada pela eletricidade é remodelada em trabalho útil (cerca de 90%), ao passo que os motores usados atualmente são apenas 30% eficientes. Vale ressaltar também a diminuição do valor das manutenções, já que haveria uma troca da fricção dos pistões dada pela combustão por simples fios que podem ser facilmente trocados. Além do mais, estima-se que o valor da hora de voo gasta por estes motores seja de três dólares americanos (*Ibidem*).

Visando alçar novos voos, a Bye Aerospace, empresa americana, está desenvolvendo projetos para os tão esperados aviões elétricos. Com isso, a companhia desenvolveu o eFlyer 2, avião movido a bateria destinado ao treinamento de pilotos. Ele está previsto para apenas dois lugares e apresenta o dobro de eficiência se comparado a aeronaves do mesmo porte. Em abril de 2018, o projeto fez seu primeiro voo e foi concluído com sucesso, estando agora em fase de certificação da FAA (Agência de Administração Federal dos Estados Unidos). Nas suas especificações, o avião pode atingir 135 nós de velocidade e possui uma resistência de três horas de voo e um custo operacional de 23 dólares americanos por hora voada (BYE AEROSPACE, s.d.).

### **2.3 Hidrogênio**

Outra alternativa para substituição dos combustíveis fósseis é o hidrogênio (H), elemento químico de primeira instância na tabela periódica, sendo um composto pouco denso, simples e o elemento em maior quantidade do planeta. Trata-se de uma

substância que não é encontrada separadamente na natureza. Significa dizer que o hidrogênio é encontrado em conjunto com outras matérias, como é o caso da água, composta por oxigênio e H<sub>2</sub>. Com isso, para sua obtenção, é necessário que haja a separação de materiais que o contenham. Em seu estado natural, o hidrogênio é encontrado na forma gasosa e apresenta grande quantidade de energia, superando qualquer combustível conhecido (OLIVEIRA et al, 2011).

Apesar de consistir em um substituto com grande potencial sustentável, existem desafios a serem tidos em conta. O seu armazenamento é um deles, já que se trata do elemento mais leve da tabela periódica, o que dificulta o seu armazenamento. Além disso, possui baixo ponto de ebulição – 252,87 graus Celsius negativos –, sendo necessário o uso de tanques criogênicos para seu armazenamento. Outro contratempo na utilização do elemento está, como já dito, na sua obtenção: ela se dá por meio da separação de outros materiais mediante os seguintes processos: hidrólise, eletrolise da água e biofotólise. Além disso, trata-se de uma substância perigosa e difícil de ser manuseada – em caso de alta exposição, a matéria pode causar até a morte, e, em caso de vazamento, seu contato com o oxigênio pode gerar a combustão. Desse modo, exige-se mais cautela em seu uso (*Ibidem*).

Em 15 de abril de 1988, em meio à Guerra Fria, na antiga União Soviética, um avião da empresa Tupolev, o TU-155, realizou o primeiro voo contendo hidrogênio em uma das suas turbinas modificadas para esta finalidade. O voo, que durou 21 minutos, armazenou o composto na sua forma líquida, estando a 252 graus negativos, e, para isso, usufruiu de um reservatório térmico bastante apropriado para o caso, evitando que o composto entrasse em ebulição durante a armazenagem (SALVO, 2009).

Dada a viabilidade do composto, evidencia-se que sua utilização é possível caso haja real interesse na sua obtenção e produção em larga escala e uma remodelação de aeronaves para seu uso, além de apoio governamental destinado a incentivar os estudos e a implementação de novas tecnologias, o que incrementaria a possibilidade de substituição dos combustíveis fósseis por essa fonte (AMY, 2019).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta pesquisa buscou compreender a viabilidade econômica e ambiental dos combustíveis aeronáuticos atuais e demonstrar que há alternativas para driblar os

empecilhos atualmente presentes por meio da adoção de caminhos alternativos, quais sejam, o da utilização de energias renováveis e sustentáveis com vistas a uma melhora ambiental, menores custos e, é claro, a máxima segurança.

Com base no exposto, foi possível observar que a aviação mundial atual ainda é dependente dos combustíveis fósseis, que produzem relevantes danos ambientais e, por serem finitos, criariam um hiato no qual o futuro de todo um importante sistema de transportes estaria ameaçado. A dualidade inicial dos problemas fomenta a busca por solução e pressiona os especialistas dos setores envolvidos a encontrarem alternativas reais que confirmem a potencialidade de uso de combustível limpo e compatível com os objetivos de desenvolvimento da sociedade humana como um todo. O processo exige novos estudos e investimentos substanciais, na expectativa de respostas eficientes que tragam proteção para o futuro desejado.

Por outro lado, os atuais empecilhos para a implementação imediata dos biocombustíveis residem especialmente no fato de serem necessárias alterações nos aviões devido à incompatibilidade técnica da fuselagem com os combustíveis alternativos, além do desafio da confiabilidade, eficiência e economia para que não haja falhas repentinas durante os voos. Seria necessário, ainda, desenvolver um biocombustível que se adeque às tecnologias existentes nas aeronaves, especialmente para uso na aviação comercial, assim como alterar a estrutura de abastecimento de aeroportos. A dificuldade em superar tais gargalos consiste, basicamente, nas incertezas das fabricantes e operadoras quanto à produção em larga escala das matérias-primas, que atualmente sofre descontinuidade. Vale acrescentar, ainda, que essa produção em larga escala demanda mais áreas desmatadas, o que, em tese, competiria com as áreas destinadas ao setor alimentício.

Apesar dos desafios pontuados, essa nova concepção sustentável da aviação pretende chamar a atenção de outros modais da economia brasileira, possivelmente evoluindo o setor de transportes como um todo e alavancando não apenas as pesquisas, mas a produção de matérias-primas, o interesse de empresas estrangeiras e instituições financeiras, bem como a própria indústria aeronáutica. Ademais, trará mais visibilidade ao Brasil, tornando-o um grande protagonista relevante no uso e desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis para a aviação.

Isso considerado, tem-se que a pesquisa contribui com o setor aéreo visando expor a importância do assunto a todos nós, enquanto sociedade, e, em especial, àqueles que lidam com a atividade aeronáutica.

Infere-se que a utilização dessas novas fontes de energia possíveis à aviação oferece claros benefícios ao setor, tornando-se tema de extrema importância que necessita de constante debate, reflexão e, em última análise, de investimentos para que essa perspectiva faça parte das soluções que se alinhem aos privilégios que a vida na Terra pode oferecer.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA SENADO. Protocolo de Kyoto. **Senado Notícias**. Brasília: 2021.

AMY, Caleb. **Hydrogen as a Renewable Energy Carrier for Commercial Aircraft**, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Pedro%20Henrique/Downloads/Hydrogen%20as%20a%20Renewable%20Energy.pdf> . Acesso em: 05 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Metodologia de Cálculo**: Inventário de Emissões Atmosféricas. Brasília: 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília: 2005. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>

BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1995.

BOEING. **Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil**: Plano De Ação. Seattle: 2013.

BONASSA, Gabriela. Bioquerosene: Panorama da Produção e Utilização no Brasil. Paraná: **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 2014.

BYE AEROSPACE. **Electric Training Aircraft**. [s.d.] Disponível em: <https://byeaerospace.com/electric-airplane/>. Acesso em: 19 out. 2021.

CARDOSO, Leonardo. **Preço do petróleo como determinante para o aumento das reservas e da disponibilidade energética**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Economia) – Universidade Federal da Bahia. Salvador: UFB, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/9328/1/TCC%20LEONARDO%20CHAVES%20BORGES%20CARDOSO.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

CASAGRANDE, Vinícius. Dez curiosidades sobre o Airbus A-380, o maior avião de passageiros do mundo. Rio de Janeiro, **CNN Brasil**, 2021.

CENIPA. **Resumo dos Relatórios Finais dos Acidentes da Década de 1990**. Brasília: CENIPA, 2002.

CGEE. **Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

COSTA, Adriana Aparecida dos Santos. **Caracterização de motor aeronáutico utilizando misturas de gasolina de aviação e etanol: aspectos fluidodinâmicos, termodinâmicos e ecológicos**. Guaratinguetá: [s.n.], 2011.

CRUZ, B. A. **Características vegetativas e produção de cachos de híbridos interespecíficos entre o caiaué e o dendezeiro**. Dissertação. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia. Manaus: 2016.

EMBRAER. **Agrishow 2017 Embraer apresenta Ipanema 203 preparado para Certificação Aeroagrícola Sustentável**. Botucatu: EMBRAER, 2017.

EMBRAPA. **Cultivo intercalar de culturas alimentares com palma de óleo na fase pré-produtiva**. Belém: 2016.

GOL. Disponível em: <https://www.voegol.com.br/informacoes/sustentabilidade>. Acesso em: 15 set. 2021.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e Motores**. São Paulo: Ed. Asa, 1998.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Planos de Ação Estaduais e Assistência**. Montreal: [s.d.(a)] Disponível em: [https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange\\_ActionPlan.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange_ActionPlan.aspx). Acesso em: 10 out. 2021.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). ICAO. **Qual é a contribuição da aviação para as emissões globais de gases de efeito estufa?** [s.d(b)]. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-FAQs.aspx#>. Acesso em: 10 nov. 2021.

\_\_\_\_\_. **Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – General provisions, noise and local air quality**. Montreal: [s.d.].

KLM. **Compensando as emissões de CO2**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.klm.com.br/information/sustainability/compensate-co2-emissions>. Acesso em: 15 set. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: 2020.

MONTEIRO, Raul Francé. **Aviação: construindo a sua história**. Goiânia: Ed. da UCG/GO, 2002.

MOREIRA, F.B.F. **Síntese e caracterização de óleo básico biolubrificante a partir do biodiesel de babaçu**. Dissertação. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará. Maracanaú, 2017.

MYCLIMATE. **Lufthansa, Swiss e Edelweiss se preparam para o futuro.** Zurique: 2021.

NASA. **Battery Innovations Power All-Electric Aircraft.** Disponível em: [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/t\\_1.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/t_1.html). Acesso em: 2 out. 2021.

OLIVEIRA, Ana Camila Rodrigues, et al. O Uso do Hidrogênio como Fonte Energética. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Belo Horizonte, 2011.

OXFORD DICTIONARIES. **Combustion.** [s.d]. Disponível em: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/definition/english/combustion?q=Combustion>. Acesso em: 10 nov. 2021.

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: breves conceitos.** Salvador: Ed. Conjuntura e Planejamento, 2006.

PETROBRAS. **Gasolina de Aviação** informações técnicas. 2014.

\_\_\_\_\_. **Querosene de Aviação** informações técnicas. 2019.

RANUCCI, C. R. **Transesterificação seguida de destilação para obtenção de bioquerosene de pinhão manso (*Jatropha curas L.*) babaçu (*Orbignya phalerata*) e palmiste (*Elaeis guinnenses*).** Dissertação (Mestrado) – Centro de Engenharia e Ciências Exatas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo: 2015.

RUEDA, E. D. M. **Estudo da produção de Biocombustíveis para o setor da aviação obtidos pela desoxigenação de ácidos graxos do óleo de babaçu.** Dissertação. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2020.

SALVO, Salvatores. **A Energética e o Terceiro Milênio.** Ed: Biblioteca 24 horas, 2009.

SCIENTIFIC AMERICAN. **Jumbo faz primeiro vôo com biocombustível de óleo de palma.** [s.d.] Disponível em: <https://sciam.com.br/jumbo-faz-primeiro-voo-com-biocombustivel-de-oleo-de-palma/>. Acesso em: 20 out. 2021.

SOARES, Pedro G. **Esquema de redução de emissões da Aviação Civil Internacional (CORSA/ICO): desafios e oportunidades.** São Paulo: IDESAM, 2018.

SOUZA, Valdir Adileu. **O Uso do Etanol Além da Aviação Agrícola: um dos Caminhos para a Aviação Geral.** Florianópolis: RBAC e CIA, 2021.

TERRA. **Avião da TAM faz primeiro voo de biocombustível de pinhão manso.** Terra. Economia. 2010. Disponível em: <https://www.terra.com.br/amp/economia/tam-testa-bioquerosene-de-aviacao-a-base-de-oleo-de-pinhao-manso,6e68124f4e90b310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>. Acesso em: 11 out. 2021.

URNS, Stephen R. **Introdução a Combustão.** Porto Alegre: Ed. AMGH, 2013.

VIANNA, Cleverson Tabajara. **Pesquisa e Metodologia Científica**: classificação das pesquisas científicas. Santa Catarina: IFSC, 2013.

E-mail: [pedrohenriquedf00@gmail.com](mailto:pedrohenriquedf00@gmail.com)  
Contato: (61) 9 9183.4428

## RESOLUÇÃO nº 038/2020 - CEPE

### ANEXO I

#### APÊNDICE ao TCC

**O estudante Pedro Henrique Stahlhoefer**

do Curso de Ciências Aeronáuticas, matrícula 2018.1.0047.0032-7, telefone: (61)991834428, email: pedrohenriquedf00@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Viabilidade dos combustíveis aeronáuticos e possíveis alternativas”, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 07 de dezembro de 2021

Assinatura do autor:



Nome completo do autor: Pedro Henrique Stahlhoefer

Assinatura do professor-orientador: \_\_\_\_\_



Nome completo do professor-orientador: Raul France Monteiro