

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO GOIÁS  
ESCOLA POLITÉCNICA  
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

**PROBLEMA AMBIENTAL E ESCASSEZ DO PETRÓLEO: ALTERNATIVAS  
POSSÍVEIS NA AVIAÇÃO**

GOIÂNIA  
2022

GUSTAVO GOMES ESPÍNDOLA

**PROBLEMA AMBIENTAL E ESCASSEZ DO PETRÓLEO: ALTERNATIVAS  
POSSÍVEIS NA AVIAÇÃO**

Artigo Científico apresentado à Pontifícia  
Universidade Católica de Goiás como exigência  
parcial para a obtenção do grau de bacharel em  
Ciências Aeronáuticas.

Professor Orientador: Me. Raul Francé Monteiro.

GOIÂNIA  
2022

GUSTAVO GOMES ESPÍNDOLA

**PROBLEMA AMBIENTAL E ESCASSEZ DO PETRÓLEO: ALTERNATIVAS  
POSSÍVEIS NA AVIAÇÃO**

GOIÂNIA – GO, 8/12/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

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

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

Esp. Tammyse Araújo da Silva \_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_  
Assinatura Nota

# PROBLEMA AMBIENTAL E ESCASSEZ DO PETRÓLEO: ALTERNATIVAS POSSÍVEIS NA AVIAÇÃO

## ENVIRONMENTAL PROBLEM AND OIL SHORTAGE: POSSIBLE ALTERNATIVES IN AVIATION

Gustavo Gomes Espíndola\*

Raul Francé Monteiro\*\*

**RESUMO:** Este trabalho busca verificar a exequibilidade econômica e ambiental de combustíveis alternativos em contraste com os combustíveis ora utilizados, com a gênese situada nas origens da aviação, motores aeronáuticos e dos combustíveis utilizados. Por consequência, pretende comparar as vantagens e desvantagens das fontes energéticas utilizadas, além de estudar algumas das possíveis alternativas. Dados levantados durante a pesquisa demonstraram que há contraindicações significativas para o uso de combustíveis fósseis, o que confirma a busca por alternativas sustentáveis mais condizentes com as necessidades que defendem as formas de vida. Entre os problemas elementares identificados, está a finitude do óleo fóssil, fonte de energia não renovável, portanto, um outro processo desgastante para os especialistas em função do alto custo que os derivados irão galgando em desvantagem dos usuários. Noutra ponta, observa-se a série de encontros, que congrega a todos na procura de soluções que equacionem a degradação em razão da emissão de gás carbônico na atmosfera do planeta e gera prejuízos ambientais que definem a celeridade do problema. Por fim, a pesquisa aborda a questão da volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis. Deste modo, alternativamente, avalia-se a possibilidade do uso de combustíveis alternativos, sejam biocombustíveis, combustíveis sintéticos, a eletricidade ou o hidrogênio. Conclui-se que alternativas aos combustíveis fósseis são uma demanda atual e precisam ser atendidas para reverter a poluição desprendida pelos gases exalados dos motores aeronáuticos, assim contribuindo para este projeto maior e gerando mais estabilidade nas planilhas econômicas das empresas aéreas. Quanto à sua classificação este trabalho tem a natureza básica, na medida que cuida de gerar conhecimento para novas pesquisas, utilizando-se da via bibliográfica para obtenção de mais dados e seu objetivo é descritivo com abordagem, qualitativa.

Palavras-chave: Problema Ambiental; Escassez; Petróleo; Alternativas Possíveis; Aviação.

***ABSTRACT:** Bearing in mind that the use of fuels is necessary for the activity of aviation, whether commercial or general, this paper seeks to verify the economic and environmental feasibility of alternative fuels to those used today, demonstrating initially a brief summary on*

---

\* Graduando em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica do Goiás (PUC-GO). E-mail: guga21s@gmail.com

\*\* 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.

*the origin of aviation, the engines and fuels used to reach the current ones ,and therefore, demonstrate advantages and disadvantages of such energy sources used today and soon after seeks to study some possible alternatives. The data collected during the research showed that there are strong contraindications against the use of fossil fuels, which strengthens the search for sustainable alternatives. Among the problems encountered is the finite availability of petroleum, a non-renewable energy source, it means that will become increasingly scarce and expensive. And the issue of environmental degradation due to its burning, which emits carbon dioxide, and generates great environmental damage. The research also addresses the issue of the volatility of fossil fuel prices. In this way, the possibility of using alternative fuels, like biofuels, synthetic, electricity as an energy source and hydrogen, is evaluated. It is concluded that alternatives to fossil fuels are an current demand and it can replace the energy sources used today, depending on research and investments for implementation in aviation, thus reversing environmental damage and generating more economic stability for companies. This work, in terms of its scientific classification, is of a basic nature, as it seeks to generate knowledge for new research, using the bibliographic approach to obtain more data. Its objective is exploratory and its approach qualitative.*

Keywords: Environmental problem; Scarcity; Petroleum; Possible Alternatives; Aviation.

## **1 INTRODUÇÃO**

A partir da indústria de aviação como atividade centenária e essencial para o desenvolvimento do tecido social no mundo, esta pesquisa avalia os conteúdos utilizados na aviação desde seu início até a atualidade. Assim sendo, faz-se necessário a análise do impacto ambiental, do custo operacional destes combustíveis e as possíveis alternativas existentes para um futuro próximo. O artigo estuda os combustíveis utilizados atualmente na aviação e as possíveis alternativas, já disponíveis ou em desenvolvimento. Para tal, se faz uma breve retrospectiva sobre as origens da aviação, de seus grupos motopropulsores e dos combustíveis até então utilizados.

Neste sentido, esta pesquisa pretende apresentar de forma breve a evolução dos motores aeronáuticos, identificar os avanços tecnológicos empregados nestes motores, e apresentar os estudos para substituir o combustível usado, isto, sem grandes mudanças nas leis básicas do seu funcionamento, com a observação da previsão do Anexo 16, da Convenção de Aviação Civil Internacional (CACI, 1944), de Chicago, na qual discorre sobre a preservação do meio ambiente. Atualmente, a poluição produzida por motores aeronáuticos tem sido agenda de inúmeras discussões em todo mundo, mas em particular na Europa, onde pessoas tem deixado de viajar de aviões e escolhem viajar de trem, como uma forma de protesto contra a poluição resultante do uso deste modal de transporte.

O objetivo principal deste trabalho é pesquisar alternativas já existentes, ou em

desenvolvimento aos combustíveis fósseis utilizados atualmente pela grande maioria das aeronaves em operação, com foco na substituição da AVGAS (gasolina de aviação) e do JET-A1 (querosene de aviação), que são utilizados por aviões com motores a pistão e a jato respectivamente.

Desta maneira, além de se pesquisar combustíveis alternativos, também é importante observar a viabilidade do projeto e seu custo, muito embora inúmeras ações estejam em curso, deve-se ressaltar que este é um processo demorado, e que uma transição bem planejada permitirá uma migração sem transtornos. Para atingir os objetivos propostos, adotou-se o procedimento bibliográfico por meio do levantamento de informações em livros, artigos científicos veiculados em revistas especializadas e sites oficiais de fabricantes aeronáuticos e governamentais, o que caracteriza a pesquisa como de natureza básica, objetivo descritivo e abordagem qualitativa.

A escolha deste tema se justifica pela preocupação mundial com as emissões de gases poluentes e estudos recentes apontam a aviação por ser responsável por aproximadamente 3% das emissões de CO<sub>2</sub> no planeta, ao mesmo tempo em que se busca uma alternativa em substituição ao petróleo, que é um recurso finito e com tendências de aumento dos preços. Ou seja, quanto mais ele se mostre exíguo, mais facilmente chegará a um ponto que se tornará inviável arcar com os custos dos combustíveis e ainda tentar obter algum lucro.

Para além da poluição, os números descrevem o petróleo como matéria prima não renovável, que em alguns anos será uma preciosidade, e assim traz novas visões como um fim próximo ou, mesmo os que consideram um tempo maior, sabem que em alguns anos não estará mais disponível. Então, será preciso encontrar um alternativa a este e quanto mais cedo for encontrada, melhor será.

## **2 PETRÓLEO COMO PRODUTO FINITO E SUA INFLUÊNCIA NEGATIVA NO MEIO AMBIENTE**

Voar sempre foi um sonho da humanidade, e há relatos muito antigos presentes na antiga mitologia grega que de acordo com o mito, Dédalo, um construtor e um escultor ateniense que assassinou seu sobrinho Talo, foi recebido pelo rei Minos de Creta, e ficou responsável por construir um labirinto para servir de residência para o Minotauro, filho da Rainha Pasifae, mulher de Minos e de um touro sagrado. Minotauro era uma aberração, metade homem e metade touro, e se alimentava de carne humana. O rei Minos, castigou os

atenienses por matarem seu filho Androgeu, assim capturou a cidade de Atenas e estabeleceu um tributo anual de sete homens e sete mulheres para alimentar o Minotauro (RAMOS, 2020).

Para Ramos (2020), em consequência, ao fim do terceiro ano, Teseu, filho do rei de Atenas, se ofereceu para libertar a sua pátria, mas quando chegou em Creta, a jovem Ariadne, filha do rei Minos, se apaixonou por ele, e juntos, com a ajuda de Dédalo, entregaram a Teseu um novelo de fio que serviu para guiar o herói para entrar e sair do labirinto. Ao saber da traição de Dédalo, o rei Minos o prendeu, junto com o seu filho Ícaro, numa ilha. Dédalo começou a planejar uma fuga. Recolheu penas de aves, as colou com cera, e construiu asas para si e para seu filho. Com estas conseguiram voar até uma ilha vizinha. Mas Ícaro, animado com a possibilidade de voar, continuou cada vez mais alto, e não ouviu seu pai, que o tinha advertido para não voar muito alto, pois o sol derreteria a cera que colava as penas, mas o jovem não atendeu ao pai e subiu muito, de modo que o calor derreteu a cera das asas, Ícaro caiu no mar Egeu, e se afogou, para desgosto de Dédalo que viu seu filho morrer.

Mais a frente, na Itália Renascentista, Leonardo da Vinci, após estudar o voo dos pássaros, idealizou um helicóptero primitivo e uma espécie de asa delta que seriam propulsionados pela força humana no caso da segunda citada se batia as asas como se fosse um pássaro. Entretanto, logo percebeu que a musculatura humana não proveria força suficiente para propulsionar asas como conseguiam os pássaros, e ao longo do tempo foi criado um consenso em que se acreditava que era necessário outro tipo de propulsão, porém nessa época não existia tecnologia para tal, o que seria discutido séculos depois, mais precisamente no século XIX. Porém, preocupado com a Santa Inquisição, os estudos de Da Vinci ficaram perdidos por mais de dois séculos (LEONARDO DA VINCI INVENTIONS, 2012).

Varella (2010) relata que vários experimentos, foram feitos após o período de Da Vinci, porém focados em máquinas mais leves que o ar. No Século XIX foi retomado o interesse pela máquina voadora mais pesada que o ar, e isso coincidiu com o desenvolvimento do motor a gasolina que em 1862 já estava sendo estudado e viria a facilitar o desenvolvimento dessas máquinas.

Alphonse Beau de Rochas, um engenheiro francês, patenteou uma espécie de motor a combustão interna de 4 tempos. O projeto era de um motor com muita eficiência, mas seus testes nunca tiveram êxito na prática. Um pouco adiante no ano de 1876, o alemão Nikolaus August Otto idealizou um parecido com o proposto por Rochas, que ficou conhecido por motor ciclo Otto, e em 1878, ele o apresentou na Feira Internacional de Paris, sendo este o

primeiro motor de combustão interna de 4 tempos a funcionar (VARELLA, 2010).

Vários tipos de combustíveis foram utilizados na aviação até se chegar aos padrões dos dias atuais. Foram feitos testes com motores a vapor, com os movidos a petróleo bruto, até mesmo elétricos, mas ainda apresentavam dificuldades, ou possuíam pouca potência e eficiência. Em geral eram mais pesados do que o que se pretendia e apresentava dificuldades, fato este que para o que ficou conhecido como a relação peso *versus* potência. Em relação às máquinas voadoras, um dos momentos mais importantes ocorreu no Campo de Bagatelle, Paris, quando Alberto Santos-Dumont voou em seu 14-Bis com um motor náutico com potência máxima de 50hp, suficiente para levantar um voo de mais de 220 metros e alcançar a velocidade de 41,3 km/h. Começava aí o uso de motores a pistão e o início da gasolina na aviação (FREITAS, 2020).

Durante essa primeira metade do Século XX, os motopropulsores de aviões foram motores a pistão radiais ou em linha, quase sempre movidos a gasolina. Nesse tempo, devido a evolução das aeronaves desenvolvidas com apoio dos Estados envolvidos em duas guerras mundiais, tornou-se necessário o desenvolvimento e a elaboração de gasolinas mais apropriadas para uso em novos propulsores aeronáuticos. Logo foram sendo produzidas especificações mais sofisticadas para atenderem as exigências impostas pelos fabricantes, e em muitos casos, passaram a acrescentar aditivos para obterem melhor funcionamento e maior durabilidade (CGEE, 2010).

Em meados da década de 1930, ocorreram os primeiros experimentos com os motores à reação (jato). O intento estava orientado na busca de um motor que fosse relativamente leve, tivesse a capacidade de voar em altitudes mais altas em comparação aos motores a pistão e com maior velocidade. Pesquisadores norte-americanos e europeus iniciaram estudos sobre a possibilidade destes motores a combustão interna e a partir disso, a fabricante alemã Heinkel criou um motor movido a gasolina “HeS 3”, que era um turbo jato com os princípios básicos de funcionamento propostos. O primeiro voo com o motor a reação ocorreu em 1939, em uma aeronave denominada “HE 178” (FREITAS, 2020).

Segundo Chevron (2007), o primeiro avião de produção que utilizou um motor a reação foi o Messerschmitt Me 262, dotado dois motores Junkers 004, que era abastecido querosene que era utilizado para iluminação como combustível, óleo diesel e gasolina, sendo que esta última não era muito viável pelo seu alto custo, e ineficiente pelo tanto que era consumida.

Com a derrota alemã na Segunda Guerra Mundial os norte americanos tomaram o protagonismo no desenvolvimento dos motores a jato, e a Força Aérea dos EUA começou a



usar um combustível que é uma mistura de hidrocarbonetos que abrange as faixas de ebulição da gasolina e do querosene. Porém, logo foi deixado de lado mais uma vez, já que era caro e trabalhoso de se produzir. Com o passar do tempo, na década de 1950, no início da era dos jatos comerciais, foi dada preferência ao querosene. Ressalta-se que a escolha se justificou pela suas as melhores combinações de propriedades e fácil produção em massa. Este, foi denominado JET-A1 ou QAV no Brasil (CHEVRON, 2007).

Desde a década de 1950 os combustíveis utilizados em grande escala na aviação são: querosene de aviação (JET-A1) e a gasolina de aviação (AVGAS). São combustíveis de origem fóssil derivados do petróleo, e, por isso, são poluentes e emissores de CO<sub>2</sub> na atmosfera, que é o principal gás de efeito estufa (ANAC, 2022).

Assim, em função do exposto, com o advento do motor a jato a partir da década de 1960, os aviões do transporte regular (comercial) ficaram maiores e mais velozes. Assim, em 1988, ocorreu na sede da OACI, em Montreal, no Canadá, uma reunião para tratar sobre as emissões de gases de efeito estufa que mais tarde levaria a reunião de Kyoto, no Japão. Naquele momento, foi definido e assinado o Tratado de Kyoto (1997), considerado o primeiro tratado internacional para controle de emissão de gases de efeito estufa e com o compromisso de redução das emissões. Entre os sistemas mais poluidores ficou definido o transporte aéreo (AGÊNCIA SENADO, 2021).

Conforme afirma Freitas (2022), ao se observar o fator econômico, sabe-se que a aviação foi afetada por algumas crises do petróleo ao longo de sua história. A primeira delas ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial, na qual, em decorrência do conflito, grande parte da produção de combustíveis foi destinada para suprir as necessidades do conflito, e isso dificultou o transporte aéreo civil que, naquele momento, não era uma prioridade.

Mais tarde, no início da década de 1970, estudos levaram à conclusão de que o petróleo era um recurso finito, esgotável e em apenas três anos o tal recurso triplicou de preço. Sua avaliação variava e no início da década de 1980, ocorreu uma nova crise decorrente da guerra Irã-Iraque, importantes fornecedores mundiais do produto. Assim como na crise da guerra do Golfo, voltaram a ocorrer momentos difíceis como a instabilidade da guerra Rússia-Ucrânia, que em seus primeiros momentos provocou uma diminuição na oferta de petróleo russo, devido a embargos econômicos impostos por considerável número de países à Rússia (FREITAS, 2022).

Gomes (2013), comenta que a oscilação de preços do petróleo interfere nos custos do transporte aéreo, pois o preço dos combustíveis está atrelado ao preço do barril do petróleo internacional, que para ser definido leva-se em conta diversos fatores, por exemplo, os fatores

políticos, nos quais países produtores e exportadores de petróleo tem o poder de limitar a oferta de propósito, e por isso, ocorrem variações imprevisíveis e, muitas vezes, bruscas.

Para o mesmo autor (2013), o valor do combustível e a oscilação do câmbio são elementos que influem sobre os custos do transporte aéreo, e está sujeito às variações de moedas. Nesse caso, opta-se pela economia de combustível baseada no avanço e na eficiência dos motores. Segundo o Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias (SNEA) do Brasil, as empresas aéreas do país tem registrado queda em seus lucros devido aos insistentes aumentos nos preços dos combustíveis.

Tendo em vista que os combustíveis mais utilizados na aviação são baseados na extração de materiais fósseis, assim como, a indústria do transporte aéreo tem estado refém das flutuações dos preços destes combustíveis com alertas de possíveis limitações na distribuição, torna-se necessário aprimorar a segurança energética como também a segurança econômica, para que se possa ter um orçamento previsível (STAHLHOEFER, 2021). Visto que a instabilidade econômica é um dos maiores problemas das companhias aéreas, ter a tecnologia de um combustível renovável e economicamente viável tem se tornado não só uma prioridade das empresas como também dos governos (VILT, 2017).

Também é de extrema importância levar em conta o fator ecológico. De acordo com a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), por volta de 2% da emissão mundial de CO<sub>2</sub> pelo ser humano é causada pela aviação, e que até 2030, se nada for feito para mudar, essa quantidade pode aumentar para 3%. Isso se trata de uma preocupação mundial, portanto a OACI que é agência reguladora da internacional da aviação civil também entende a relevância de reduzir o impacto quanto à emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Assim, em 2010, a OACI iniciou uma meta para que cada Estado-membro promovesse um projeto para redução das emissões com o propósito de entregar ferramentas para cada país. Por meio desta, os países terão que planejar estratégias a longo prazo sobre as alterações climáticas (OACI). Em 2015, foi elaborado o Acordo de Paris, assinado em 2016, por 195 países, nesse acordo foram estabelecidas novas ações para tentar combater o problema climático, com o objetivo de parar o aumento da temperatura média do planeta, porém, a previsão é de que aumente até 2 graus até o fim do Século XXI (AGÊNCIA SENADO, 2021).

Stahlhoefer (2021) afirma que, a partir desse acordo, a OACI realizou em 2016 a sua 39ª Assembleia, que aprovou a Resolução A39-3, e estabeleceu o Esquema de Redução e Compensação de Emissões da Aviação Internacional, mais conhecido pela sigla CORSIA. O projeto tem como objetivo aumentar o empenho das partes para a redução dos gases de efeito estufa na aviação e limitar o aumento das emissões maiores que os níveis impostos por ela.

Ao implantar o CORSIA, com a intenção de obter melhorias a OACI implementou uma série de ações mitigadoras como: desenvolver novas tecnologias para aeronaves; aprimoramento no controle de tráfego (ATS) e dos operadores de pátio para economizar combustível durante o táxi e operações em solo; além do desenvolvimento de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis para a aviação civil (STAHLHOEFER, 2021).

Assim, para o desenvolvimento do plano, a OACI elaborou três etapas para a implementação do esquema CORSIA. A primeira e a segunda, estão previstas para os países que se voluntariaram e deverá ocorrer entre os anos de 2021 e 2026. Diferentemente, a última etapa, será composta pela maioria dos países neste momento, responsabilizados a fazer compensação das emissões que ultrapassarem o limite imposto (STAHLHOEFER, 2021).

Tendo em vista o exposto, de acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE (2010), restará um desafio para a indústria de construção de motores aeronáuticos e para as fabricantes de combustíveis: manter as propriedades dos combustíveis aeronáuticos que são: a alta densidade energética, que é a capacidade do combustível ter alto poder calorífico em relação ao peso e o volume, o combustível também deve permitir potências elevadas no caso dos motores a pistão, onde a potência do motor está diretamente relacionada à octanagem da gasolina, ou do combustível que irá substituí-la. Tal octanagem quer dizer a capacidade do combustível em não iniciar a combustão espontânea em determinado nível de compressão. Vale destacar que a gasolina de aviação atualmente tem a octanagem por volta de 100 octanas.

Outra propriedade exigida é apresentar a volatilidade adequada para ocorrer a queima corretamente, tendo em vista que o combustível tem que ser vaporizado na hora de sua combustão e se este for muito volátil ficará inseguro de manusear, pois pode entrar em combustão em um momento inoportuno. Ele também deve apresentar baixo ponto de congelamento em função do avião voar em ambiente de baixas temperaturas, e por fim, que devam ser insolúveis em água para evitar o risco de congelamento (CGEE, 2010).

Ainda segundo a CGEE, o combustível deve ser quimicamente estável e apresentar baixo poder de corrosividade, o que quer dizer que às vezes os combustíveis aeronáuticos precisam ocasionalmente serem estocados por longos períodos, e devem preservar suas características, o que necessita de evitar processos como oxidação e formação de depósitos. Além disso, devem ser compatíveis com motores convencionais ou com os a jato aeronáuticos. Para alcançar essas exigências geralmente são adicionados aditivos, no caso de derivados de petróleo, e este é um desafio dos combustíveis sintéticos, já vir com essas características sem precisar de aditivos, pois assim seria mais barato um combustível vir de

fábrica com determinada característica, pois assim evitaria a necessidade de ter mais uma etapa na produção (CHEVRON, 2007)

Os motores a jato precisam de um combustível diferente dos motores a pistão, ou seja, com baixa octanagem, pois eles funcionam sem velas, de modo que as utilizam somente no momento da partida para começar a combustão e devem ter componentes mais pesados do que a gasolina. O querosene de aviação é um derivado do petróleo bruto, é mais seguro que a gasolina e é ideal para motores a reação. Em inglês, o querosene de aviação (QAV) é denominado *Jet Fuel* padronizado pela OACI, e no Brasil a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP determinou os padrões para fabricação do QAV de acordo com as diretrizes da organização (CGEE, 2010).

Frente à soma de todos esses fatores apresentados anteriormente, observa-se que a indústria aeronáutica enfrenta um grande desafio, que é o de desenvolver motores com combustíveis sustentáveis, sejam eles biocombustíveis (combustíveis de origem vegetal) ou combustíveis sintéticos. E estes devem apresentar todas as características, ou a maioria, apresentadas anteriormente pelos combustíveis fósseis, a fim de se poupar o esforço e o custo de desenvolver motores específicos para o uso de combustíveis novos com novas propriedades, pois isso resultaria em um valor muito alto. Juntamente a isso, a indústria ainda deve encontrar um combustível possível de ser fabricado em larga escala e com um custo final próximo ou menor que os combustíveis fósseis (CGEE, 2010).

Levando em conta o fator ambiental e do aumento expressivo no preço dos combustíveis fósseis, o desejo mundial atualmente, principalmente alavancado pelos países desenvolvidos é encontrar alternativas a esses combustíveis e isso tem se tornado decisivo no planejamento estratégico das empresas de transporte aéreo. Isso resulta do aumento de pressões governamentais e blocos para controle de emissões de gases poluentes, de modo que adotam legislações cada vez mais rígidas em relação a este tema (PODER 360, 2022).

O método que foi mais utilizado até então foi o de aumentar a eficiência dos motores com os combustíveis que já eram usados, tendo em vista que não se falava em preservação do meio ambiente. O objetivo era sim, reduzir o consumo dos motores para diminuir o custo operacional das empresas aéreas, mas isso tem mudado desde o Tratado de Kyoto. Atualmente existem aviões com motores mais eficientes como o Airbus A-320neo, que foi anunciado no final de 2021, equipado com o novo motor Pratt & Whitney GTF Advantage e que aumenta os benefícios econômicos e ambientais em relação ao motor anterior da família. A nova especificação reduz o consumo de combustível em 17%, o que segundo a indústria o torna o propulsor mais eficiente para esta família de aeronaves, por consequência, reduz

igualmente as emissões de CO<sub>2</sub> nos mesmos 17%. Além disso, o GTF Advantage será compatível com uso de 100% de SAF, ou seja, combustível sustentável de aviação (LIMA, 2022).

### **3 ALTERNATIVAS POSSÍVEIS AO COMBUSTÍVEL FÓSSIL**

Com o fim da pandemia de COVID-19 a demanda por viagens aéreas tem voltado a crescer, fator esse que impulsiona a taxa de crescimento da indústria de serviços aeronáuticos, com previsões otimistas após a passagem dessa pandemia. Porém, não se previa que haveria uma guerra com o envolvimento de um país que é um dos maiores exportadores de petróleo do mundo, e com isso, houve um aumento bastante expressivo no preço petróleo recentemente, o que conseqüentemente, aumentou o preço do querosene. Como fator de alto custo nas planilhas das empresas aéreas, o combustível passou a representar quase 50% dos custos operacionais das empresas (CORREIO BRASILIENSE, 2022).

Com toda essa volatilidade nos preços do petróleo, a tendência é de encarecimento, por conta de sua finitude e por se tornar cada vez mais escasso, além das políticas de defesa do meio ambiente que sugerem os biocombustíveis como uma alternativa mais adequada, as pesquisas levadas a efeito comprovam a existência de alguns substitutos no mercado. Por exemplo o etanol, que pode substituir a AVGAS, pois tem uma octanagem bem parecida com a 100LL, e inclusive já é usado no avião Ipanema da Embraer, que foi a primeira aeronave movida a etanol no mundo. Já no tocante às aeronaves a jato, está em desenvolvimento o SAF, assim como também existem estudos que analisam o biodiesel como possível substituto, pois tem propriedades químicas semelhantes ao querosene (STALHOEFER, 2021).

#### **3.1 Sustainable air fuel (SAF)**

Segundo a Compare Private Airplanes (2021), para um combustível ser considerado sustentável existe a necessidade de que ele atenda as exigências estabelecidas nos tratados atuais, bem como os objetivos econômicos, sociais e ambientais. Além disso, precisa conservar e promover um equilíbrio ecológico, assim como mitigar os efeitos do esgotamento dos recursos naturais. SAF é o nome dado a alguns combustíveis de aviação alternativos, fabricados a partir de matérias primas sustentáveis e renováveis.

Tais insumos podem ser tanto de fontes biológicas como algas, óleo de cozinha usado, cana de açúcar, ou sintéticos, por exemplo feitos de gases encontrados na atmosfera, como

hidrogênio ou o CO<sub>2</sub>. Tais combustíveis estão sendo desenvolvidos para serem utilizados em motores aeronáuticos sem que se precise fazer alterações no sistema de combustível do motor e, automaticamente, substitua o Jet A-1 ou o QAV. (COMPARE PRIVATE AIRPLANES, 2021).

Importante que alguns desses combustíveis possam ser produzidos a partir de biomassa reciclada de modo que não venha competir com matéria prima oriundas das plantações vocacionadas à produção de alimentos, o que, por certo, resultaria em um impacto socioeconômico indesejável. Sua principal qualidade em relação aos combustíveis fósseis deverá ser a redução na emissão de CO<sub>2</sub>, tendo em vista que estes liberam gás carbônico que pouco antes estava armazenado no subsolo sem prejuízos para o meio ambiente. O combustível sustentável recicla o CO<sub>2</sub> emitido anteriormente, o que resulta na melhoria da qualidade do ar, pois ele pode ser produzido por meio da retirada de carbono da atmosfera e tem uma redução de até 90% de resíduos sólidos (poluentes atmosféricos que pode ser fumaça ou qualquer tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera) e uma redução de até 100% na emissão de enxofre (SANTOS, 2022).

Atualmente o SAF está em fase de testes, sendo utilizado em uma mistura com o querosene de aviação convencional. Foram feitos experimentos com uma mistura de até 10% deste combustível em voos do transporte aéreo comercial, sem que se tenha verificado qualquer impacto que possa influenciar negativamente na segurança de voo. De toda maneira já se pode precisar que o SAF pode oferecer um aumento na eficiência, pois possui densidade de energia maior que querosene, sendo possível um aumento de 1,5 a 3% nos seus resultados em voo (COMPARE PRIVATE AIRPLANES, 2021).

Quando se trata do SAF, comparado ao querosene, de pronto se identifica como desvantagem o preço alto, haja vista que como é um produto em desenvolvimento acaba por agregar um maior custo de produção, por certo, por questões relacionadas à menor escala na produção. Outra desvantagem, que este momento de transição demonstra, é que o SAF ainda não é utilizado 100% nos voos. Como não pode ser armazenado nos mesmos tanques que o querosene utilizado nos motores aeronáuticos, necessita de uma segunda infraestrutura para armazenamento e isso requer muitos investimentos. Atualmente, segundo a OACI, existem 38 aeroportos onde se pode contar com abastecimento de SAF e a grande maioria está localizada na América do Norte e na Europa (COMPARE PRIVATE AIRPLANES, 2021).

### **3.2 Etanol hidratado**

Como já mencionado, o etanol é um combustível obtido a partir de carbo-hidratos, produzido principalmente a partir da cana-de-açúcar. No Brasil, tem sido utilizado com sucesso como opção para o abastecimento de automóveis desde a década de 1970. Trata-se de uma estratégia do governo brasileiro para o enfrentamento das crises do petróleo. Assim, por demonstrar bons resultados em veículos automotores, em 2005, foi certificado para utilização nos grupos propulsores que equipam as aeronaves Embraer Ipanema. Neste sentido, foi considerada a primeira aeronave do mundo, de produção em série, a fazer uso deste novo combustível. Desta forma, o etanol é considerado um combustível adequado para ser usado em motores convencionais, que entre outras qualidades demonstra características de octanagem bem parecidas ou superiores ao AVGAS (STALHOEFER 2021).

Stalhofer (2021), entre as questões de sua produção e para garantir que não precisa utilizar a matéria prima útil para a alimentação de seres humanos ou animais (cana-de-açúcar ou milho), sua produção foi possível por meio de nova vertente. Agora já se pode identificar uma segunda geração no desenvolvimento deste SAF, o chamado etanol de segunda geração, no qual são utilizados produtos secundários gerados pelo insumo inicial da matéria prima tido como alimento. Estudos demonstram a possibilidade do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar e não mais do caldo de cana.

A vantagem do etanol sobre a gasolina de aviação é principalmente o seu preço. Seguem abaixo duas tabelas comparativas para facilitar a interpretação dos preços praticados na distribuição dos dois combustíveis citados acima (STALHOEFER 2021).

**Tabela 1-** Preços de distribuição do etanol hidratado no 1º semestre de 2022.

| MÊS        | PRODUTO                | UNIDADE DE MEDIDA | PREÇO MÉDIO DE DISTRIBUIÇÃO | DESVIO PADRÃO |
|------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|
| <b>Jan</b> | Etanol Hidratado Comum | R\$/l             | 4.253                       | 0.209         |
| <b>Fev</b> | Etanol Hidratado Comum | R\$/l             | 3.832                       | 0.291         |
| <b>Mar</b> | Etanol Hidratado Comum | R\$/l             | 4.126                       | 0.313         |
| <b>Abr</b> | Etanol Hidratado Comum | R\$/l             | 4.640                       | 0.307         |
| <b>Mai</b> | Etanol Hidratado Comum | R\$/l             | 4.423                       | 0.347         |
| <b>Jun</b> | Etanol Hidratado Comum | R\$/l             | 4.075                       | 0.354         |

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2022).

**Tabela 2-** Tabela dos preços de distribuição da gasolina de aviação no 1º semestre de 2022.

| MÊS        | PRODUTO             | UNIDADE DE MEDIDA | PREÇO MÉDIO DE DISTRIBUIÇÃO | DESVIO PADRÃO |
|------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|
| <b>Jan</b> | Gasolina de Aviação | R\$/l             | 7.498                       | 1.298         |
| <b>Fev</b> | Gasolina de Aviação | R\$/l             | 8.003                       | 1.376         |
| <b>Mar</b> | Gasolina de Aviação | R\$/l             | 8.207                       | 1.401         |

|            |                     |       |       |       |
|------------|---------------------|-------|-------|-------|
| <b>Abr</b> | Gasolina de Aviação | R\$/l | 9.046 | 1.538 |
| <b>Mai</b> | Gasolina de Aviação | R\$/l | 8.469 | 1.364 |
| <b>Jun</b> | Gasolina de Aviação | R\$/l | 9.191 | 0.477 |

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2022).

Essas tabelas representam os valores de combustíveis nas distribuidoras, ainda sem a tributação, o que pode gerar oscilações nos preços de cada um. Aqui se identifica uma vantagem em favor do etanol, que por ser um combustível renovável tem um incentivo fiscal do governo e aproveita alíquotas com imposto menores (AGÊNCIA BRASIL, 2022).

Outra vantagem identificadas, é que o etanol também consegue gerar, proporcionalmente, mais potência para o motor, pois propõe a queima de apenas um hidrocarboneto o que favorece uma queima mais rápida, e pode oferecer octanagem superior ao AVGAS. Ou seja, enquanto a gasolina possui por volta de 100 octanas, o etanol oferece 120 octanas. Esse conjunto de fatores permite um aumento expressivo da taxa de compressão do motor para gerar mais potência. Por outro lado, o etanol apresenta um consumo mais rápido que a gasolina por conta de seu menor poder calorífico, mas esse aumento no consumo pode ser relevado pela diferença de preço, já que seu custo representa menos da metade do AVGAS (ANP, 2022).

### 3.3 Hidrogênio

Entre as alternativas que sugerem um bom caminho no médio prazo, as pesquisas apontam o hidrogênio que ao lado do oxigênio dá lugar à queima criogênica, considerada uma das melhores fórmulas para se gerar potência. Comparativamente, o hidrogênio é considerado um gás leve, ocupa pouco espaço e quando em combustão libera uma grande quantidade de energia (possui maior poder calorífico) se comparado com o querosene usado nos motores à reação. Além disso, gera muito mais potência em sua queima. Outro detalhe, é que produz uma queima limpa, ou em outras palavras, a combustão de hidrogênio com oxigênio deposita no ambiente, basicamente, vapor de água, ou  $H_2O$ , sem a presença de  $CO_2$ . A partir desta visão a Airbus Industry iniciou três projetos consecutivos, todos relacionados a aeronaves que utilizarão o hidrogênio para o seu abastecimento (VIANA, 2020).

Dados que se tornam de conhecimento de estudiosos e pesquisadores, tratam de que a combustão do hidrogênio gera mais calor se comparado ao querosene. Desta maneira os fabricantes de motores precisam desenvolver componentes que suportem temperaturas mais altas, principalmente na câmara de combustão e nas turbinas. Este não é um grande problema,



pois a engenharia de materiais pode atender rapidamente à demanda, mas o hidrogênio deve chegar líquido nos bicos injetores dos motores e, por consequência, ser preparado para adequar-se à linhas de pressurização no sistema motor. Aqui deve-se adaptar algo que já ocorre em outros sistemas das aeronaves, como por exemplo o sistema hidráulico que trabalha com linha pressurizadas em alta pressão. Neste caso uma ressalva, a necessidade de se criar um sistema bastante resistente, pois um vazamento de hidrogênio pode criar situações indesejáveis e perigosas (VIANA, 2020).

Com toda a certeza, as equipes da Airbus Industry devem estar completamente imersas na resolução de tais problemas, que seguem para além dos desafios durante os voos de suas aeronaves, mas são dignos de atenção para as operações no solo. Ou seja, devem ser criados novos procedimentos para o armazenamento e manuseio do novo combustível, atenção com vazamentos, armazenamento do líquido resultante sob alta pressão e com a devida segurança das instalações nos sítios aeroportuários, novos tanques subterrâneos e tubulações adequadas para a pressurização, mas novamente um ambiente conhecido, até porque o abastecimento das aeronaves já é por tubos pressurizados, apenas terão de reforçar as estruturas usadas. E a Airbus espera ainda, finalizar o projeto dessas novas aeronaves até o ano 2035 (AIRBUS, 2020).

A fabricante brasileira de aviões Embraer também apresentou sua nova linha em fase inicial de desenvolvimento de aeronaves sustentáveis, que seria um avião híbrido, dois elétricos e um movido a hidrogênio. Esse último seria o maior e com mais autonomia e pode entrar em operação a partir de 2040, movido 100% com SAF ou com hidrogênio (EMBRAER, 2022).

Seja Embraer, Airbus ou qualquer outro fabricante, todos encontrarão os mesmos desafios com o uso do hidrogênio, ou seja, a questão do armazenamento em aeroportos e seu transporte, visto que a Airbus afirma que já possui tecnologia para o armazenamento do hidrogênio líquido dentro de aeronaves. Resolver a fabricação do hidrogênio em larga escala, sendo essencialmente o hidrogênio verde (produzido de forma sustentável) e a distribuição e transporte do combustível em solo, do seu local de produção até os aeródromos, seja transportado por caminhões ou qualquer outro meio de transporte com segurança (AIRBUS, 2022)

### **3.4 Aviões elétricos**

Outra importante alternativa para os motores aeronáuticos está relacionada às aeronaves equipadas com motores elétricos. Esta tecnologia não é nova, e inclusive foi testada em aeronaves antes do motor a combustão. Motores elétricos atualmente são indicados e implementadas para aviões de menor porte, já para as aeronaves maiores ainda é inviável, por conta do peso das baterias que seriam necessários para alimentar os seus potentes motores (VINHOLES, 2022).

Por volta da década de 1940 começaram a ser usados motores elétricos em aeromodelos como uma forma de entretenimento. Muitos anos após o fracasso dos testes com motores elétricos no final do século XIX, até então baterias eram de chumbo e evoluíram em sua eficiência energética até chegar às modernas e eficientes baterias de lítio que estão disponíveis na atualidade (LIANG, 2015).

Segundo Zanoni (2018), para motores elétricos a serem utilizados em aeronaves, precisam ser de alta eficiência, ou seja entregar muita potência e consumir a menor quantidade de energia elétrica possível, pois apesar da evolução das baterias, elas continuam um tanto quanto pesadas. Nesse sentido, quanto mais os motores consumirem, mais baterias seriam necessárias para suprir o consumo. Ao levar em conta esses fatores, no presente e para as décadas próximas, o projeto para aviões elétricos são para pequenas aeronaves da aviação geral e também aviação comercial regional.

A aeronave Alice, do fabricante Eviaton é um exemplo de aeronave que pode ser usada tanto na aviação comercial regional, como na aviação geral, é uma aeronave cuja ideia principal seria conectar pequenas cidades a maiores para abastecer aeronaves maiores para irem para outros lugares. A ideia era essa aeronave voar até em 2021, mas devido a imprevistos a aeronave fora voar somente em 2022 no mês de setembro. A aeronave tem sua recarga completa no tempo de uma hora e dez minutos, e apesar de ser um carregamento rápido é bem mais lento que um avião a combustão.

A aeronave chega a 480km/h e possui um alcance de 466km e mais a reserva de 30 minutos de voo que é exigida por lei. A título de comparação, a aeronave conseguiria fazer uma ponte aérea Rio de Janeiro para São Paulo tranquilamente. A aeronave possui um teto operacional de 32mil pés, praticamente o teto operacional de muitas aeronaves a jato, altitude boa para se livrar do mau tempo. Possui a capacidade para até nove passageiros, seria então um concorrente do Cessna Caravan e teria um custo de hora de voo por volta de duzentos dólares e se espera que seja entregue aos clientes até 2027 (EVIATION, 2022).

Outra solução ótima para aviões elétricos seria nas aeronaves de instrução em escolas de aviação onde poderia reduzir muito o preço da hora de voo. Um exemplo seria a aeronave

Montaer MC-01, que inicialmente opera com um motor a combustão, mas está sendo desenvolvido em parceria com a Safe escola de aviação uma para versão elétrica desta para diminuição dos custos da hora de voo onde a hora reduziria praticamente na metade do valor na sua versão elétrica. Isso resultaria num enorme benefício para a escola e para os alunos, haja vista que a aeronave possuiria autonomia e potência aproximados à versão elétrica (MONTAER, 2022).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Essa pesquisa estudou a viabilidade na substituição dos combustíveis fósseis para uso na aviação e apresentar alternativas possíveis para seu desenvolvimento no menor espaço de tempo possível. Para tal, dá ênfase às alternativas realistas com maior viabilidade econômica, com chances de trazerem benefícios ambientais, melhor relação custo X benefício e preços mais estáveis que aqueles praticados para os combustíveis atuais.

Com base no estudo se identifica que a aviação é dependente do combustível fóssil, e apesar de ter motores cada vez mais eficientes e econômicos, continua sendo refém das oscilações de preços, o que conseqüentemente, causa prejuízos ambientais. Porém, o sistema de aviação colabora com o projeto de produção de novos combustíveis, a fim de utilizar outros mais modernos e sustentáveis. Há outro motivo para tal atitude, que trata da busca de maior equilíbrio econômico, visto que, o atual combustível é o item mais dispendioso na planilha de custos das empresas aéreas. Fica evidente que os tratados ambientais e leis antipoluição ajudaram a acelerar o processo de busca de uma alternativa com discussões internacionais e incentivos governamentais.

Foi observado também que, em um primeiro momento o custo de combustíveis alternativos será maior que o dos combustíveis fósseis, porém, ao longo do tempo, como acontece com as novas tecnologias, tudo estará ligado ao processo de ajuste na escala de produção, e que, à medida que ocorra a sua instalação, o preço deverá vivenciar reajustes com condições aceitáveis quando os altos custos das pesquisas também forem pagos.

Isto está relacionado com a necessidade de investimentos em infraestrutura aeroportuária, para adaptação de armazenamento, equipamentos para o manuseio, que, por certo, gerarão custos de implementação. Mas trata-se apenas de uma etapa a ser superada, pois o futuro exige sustentabilidade no uso de tais produtos. Ainda mais, buscarão atender aos tratados internacionais e diretrizes da OACI para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> no meio

ambiente, e conseqüentemente, esforços de todos os interessados para que o planeta obtenha uma emissão de carbono nula.

Apesar dos grandes desafios e do trabalho, há que se ter em mente a possibilidade de fabricação de combustível sustentável brasileiro, visto que o Brasil possui pesquisas no setor energético desenvolvidas pela Petrobrás, outro desenvolvimento no setor das indústrias canavieiras produtoras de etanol, e finalmente, possui pesquisas em parceria com a Embraer. Esta união de esforços faz parte dos estudos globais em favor da qualidade de vida que tem objetiva diminuir a poluição emitida no planeta, mais especificamente aquela emitida pelas aeronaves. No seu bojo poderá vir a redução do custo operacional das empresas que poderão cobrar valores mais atrativos dos trechos de voos vendidos aos seus passageiros.

Pode-se dizer que o uso destas novas fontes de energia promove importantes benefícios ao tecido social. Assim, confirma a sua relevância de modo a tornar o assunto frequente a ser debatido intramuros das universidades e na sociedade como um todo. Dado a sua magnificência torna-se atrativo para investimentos públicos ou privados, já que gera benefícios para todos, e pode levar a uma melhora na qualidade de vida de toda a civilização humana.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Redução do ICMS sobre o etanol hidratado**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-07/pelo-menos-6-estados-anunciam-reducao-do-icms-sobre-etanol-hidratado>> Acesso em: 30 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Combustíveis sustentáveis para a aviação**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/combustiveis-sustentaveis-para-a-aviacao>> Acesso em: 8 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. 2022. **Preços de distribuição de combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-distribuicao-de-combustiveis>> Acesso em: 29 out. 2022.

AGÊNCIA SENADO. **Protocolo de Kyoto**. 2021. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>> Acesso em: 14 set. 2022

AIRBUS INDUSTRY. **Zero E**. 2020. Disponível em:

<<https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>> Acesso em: 15 set. 2022.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **Biocombustíveis aeronáuticos progressos e desafios.** 2010. Disponível em: <[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/biocombustiveis\\_aeronauticos\\_24012011\\_9559.pdf/378f8f90-fa5c-4e0c-aad7-7adcbf607063?version=1.5](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/biocombustiveis_aeronauticos_24012011_9559.pdf/378f8f90-fa5c-4e0c-aad7-7adcbf607063?version=1.5)> Acesso em: 21 set 2022.

CHREVRON. **Aviation fuels technical review.** 2007. Disponível em: <<https://www.chevron.com/-/media/chevron/operations/documents/aviation-tech-review.pdf>> Acesso em: 07 set 2022.

COMPARE PRIVATE AIRPLANES. **Combustível de aviação sustentável (SAF) - tudo o que você precisa saber.** 2021. Disponível em: <<https://compareprivateplanes.com/pt/articles/sustainable-aviation-fuel-saf-everything-you-need-to-know>> Acesso em: 15 abr. 2022.

CORREIO BRASILIENSE. 2022. **Com avanço da vacinação, cresce a demanda por viagens aéreas.** <<https://www.correiobraziliense.com.br/economia/2021/10/4957380-com-avanco-da-vacinacao-cresce-a-demanda-por-viagens-aereas.html>> Acesso em: 11 dez. 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **CACI - Convenção de Aviação Civil Internacional.** Disponível em: <<https://www.decea.mil.br/index.cfm?i=utilidades&p=glossario&single=2187>> Acesso em: 24 ago. 2022.

EMBRAER. **Energia prontos para o futuro.** 2022. Disponível em: <<https://embraer.com/br/pt/9281-energia-prontos-para-o-futuro.>> Acesso em: 20 out 2022

EVIATION. **Eviation Alice.** 2022. Disponível em: <<https://www.eviation.com/aircraft/>> Acesso em: 15 out. 2022.

FREITAS, E. A. **A Crise do petróleo.** 2022. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/a-crise-do-petroleo.htm.>> Acesso em 14 set 2022.

FREITAS, W. P. **Sustentabilidade ambiental dos motores aeronáuticos.** 2020 Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1026/1/WANDERSON%20PIRES%20DE%20FREITAS%20final%20%281%29.pdf/>> Acesso em: 24 ago. 2022.

GOMES, L. A. **Motores e combustíveis de aviação.** 2013. Disponível em:

<[https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveis-de-aviacao\\_808.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveis-de-aviacao_808.html)> Acesso em: 15 abr. 2022.

LEONARDO DA VINCI INVENTIONS. **Leonardo da Vinci Glider**. 2012. Disponível em: <<https://www.leonardodavincis inventions.com/inventions-for-flight/leonardo-da-vincis glider/>> Acesso em: 14 set. 2022.

LIANG, D. **High efficiency motors: Standards and Solutions**. 2015. Disponível em: <[http://www.e2singapore.gov.sg/DATA/0/docs/NEEC%202015/Plenary%20Session%203/High-efficiency-motors-Standards-and-Solutions\\_Daniel%20Liang.pdf](http://www.e2singapore.gov.sg/DATA/0/docs/NEEC%202015/Plenary%20Session%203/High-efficiency-motors-Standards-and-Solutions_Daniel%20Liang.pdf)> Acesso em: 27 ago. 2018.

LIMA, H. Q. **Combustível de aviação (SAF) será produzido a partir de biogás e de hidrogênio verde**. 2022. Disponível em: <<https://energiaebiogas.com.br/combustivel-de-aviacao-saf-sera-produzido-a-partir-de-biogas-e-de-hidrogenio-verde>> Acesso em: 08 abr. 2022.

MONTAER. **Montaer MC-01**. 2022. Disponível em: <[http://www.montaer.com.br/montaer/montaer\\_r4\\_mc01.asp](http://www.montaer.com.br/montaer/montaer_r4_mc01.asp)> Acesso em: 15 out 2022.

PETROBRAS. **Tudo o que você precisa saber sobre os preços dos combustíveis**. Disponível em: <[https://precos.petrobras.com.br/?\\_gl=1\\*1fob223\\*\\_ga\\*MTIwNzM4NTU5Ni4xNjY1NjAyOTU3\\*\\_ga\\_541M7E63FE\\*MTY2NTYwMzAyOS4xLjAuMTY2NTYwMzAyOS42MC4wLjA](https://precos.petrobras.com.br/?_gl=1*1fob223*_ga*MTIwNzM4NTU5Ni4xNjY1NjAyOTU3*_ga_541M7E63FE*MTY2NTYwMzAyOS4xLjAuMTY2NTYwMzAyOS42MC4wLjA)> Acesso em: 15 out. 2022.

PODER 360. **Preço do combustível de aviões subiu 145%**. 2022. Disponível em: <<https://www.poder360.com.br/economia/preco-do-combustivel-de-avioes-subiu-145-em-10-anos/>> Acesso em: 11 dez. 2022.

RAMOS, J. E. M. **Ícaro**. 2020. Disponível em: <<https://www.suapesquisa.com/mitologiagrega/icaro.htm>> Acesso em: 14 set. 2022.

SANTOS, J. F. **Combustível sustentável: como o hidrogênio se tornará o combustível do futuro**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24305/4/TCC%20%20Combust%20t%C3%ADvel%20Sustent%C3%A1vel%20-%20Hidrog%C3%AAnio%20PDFA.pdf>> Acesso em: 10 out. 2022.

STAHLHOEFER, P. H. 2021. **Viabilidade dos combustíveis aeronáuticos atuais e possíveis alternativas**. Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3287/1/Viabilidade%20dos%20combustiveis%20aeronauticos%20atuais%20e%20possiveis%20alternativas.pdf>>

20combust%C3%ADveis%20aeron%C3%A1uticos%20atuais%20e%20poss%C3%ADveis%20alternativas.pdf> Acesso em: 14 set. 2022

VALDUGA, F. 2022. **Após testes de táxi, Eviation Alice está a um passo da primeira decolagem.** Disponível em: <https://www.cavok.com.br/video-apos-testes-de-taxi-eviation-alice-esta-a-um-passo-da-primeira-decolagem> Acesso em: 20 out. 2022.

VARELLA, C. A. **Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna. Seropédica-RJ:** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 17 jun. 2010. Disponível em: [http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/Aulas/historico\\_e\\_desenvolvimento\\_dos\\_motores.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/historico_e_desenvolvimento_dos_motores.pdf).> Acesso em: 24 ago. 2022.

VIANA, P. **Como funciona a propulsão com hidrogênio em aviões?.** 2020. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/propulsao-com-hidrogenio-em-avioes/> Acesso em: 15 abr. 2022.

VINHOLES, T. **O que falta para aviões comerciais elétricos decolarem, segundo especialistas.** 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/o-que-falta-para-avioes-comerciais-eletricos-decolarem-segundo-especialistas/> Acesso em: 15 abr. 2022.

VILT, J. F. **O atual cenário dos combustíveis alternativos na aviação mundial.** 2017. Disponível em: <[https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8421/1/TCC\\_CiA\\_Jarbas\\_Ferreira\\_Vilt\\_11\\_Dezembro\\_2017.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8421/1/TCC_CiA_Jarbas_Ferreira_Vilt_11_Dezembro_2017.pdf) > Acesso em: 14 set. 2022.

ZANONI, M. P. **O uso de motores elétricos na aviação comercial para a redução da emissão de poluentes na atmosfera.** 2018. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8088/1/TCC%20%20Marcos%20Zanoni.pdf>> Acesso em: 10 out. 2022.