

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA POLITÉCNICA  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

**O HIDROGÊNIO COMO OPÇÃO FUTURA DE COMBUSTÍVEL DE AERONAVES**

GOIÂNIA

2022

FILIPPE TURCIO FENATO

**O HIDROGÊNIO COMO OPÇÃO FUTURA DE COMBUSTÍVEL DE AERONAVES**

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

Professora Orientadora: Dra Anna Paula Bechepeche

GOIÂNIA

2022

FILIPPE TURCIO FENATO

**O HIDROGÊNIO COMO OPÇÃO FUTURA DE COMBUSTÍVEL DE AERONAVES**

GOIÂNIA-GO, 07/12/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

Dra. Anna Paula Bechepeche \_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_  
Assinatura Nota

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

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

# O HIDROGÊNIO COMO OPÇÃO FUTURA DE COMBUSTÍVEL DE AERONAVES

## *HYDROGEN AS A FUTURE AIRCRAF FUEL OPTION*

Filipe Turcio Fenato<sup>1</sup>  
Anna Paula Bechepeche<sup>2</sup>

**RESUMO** - O presente artigo tem como finalidade evidenciar como o hidrogênio substituirá o uso de combustíveis fósseis em aeronaves, elucidando quais os motivos que levam à modernização desta indústria, quais mudanças deverão ser feitas e quando essas novas tecnologias estarão operando em larga escala. O crescimento da demanda de passageiros e o aumento da frota de aviões causam impacto no aquecimento global e, sob a perspectiva de tornar a aviação uma indústria disruptiva, focada em zero emissões de carbono, pesquisadores enxergaram, no hidrogênio, uma solução em médio e longo prazo para tal problemática. São fatores relevantes a sua alta disponibilidade na atmosfera terrestre, o fato de não ser findável e a sua obtenção também ser zero emissão de CO<sub>2</sub>. Buscou-se analisar não apenas as vantagens da utilização desse gás, mas todos os desafios e barreiras que postergam sua estreia no mercado, bem como seus custos, mudanças necessárias na fabricação de aeronaves e motores e a adaptação de aeroportos e funcionários. A metodologia utilizada foi de natureza básica e explicativa. Levou-se em consideração, também, a forma como as empresas aéreas têm se preparado para a chegada desse momento, assim como a infraestrutura que está sendo montada para o início do uso dessa nova fonte de energia aeronáutica. Foi evidenciado que essa deve ser uma solução permanente e, quando pronta, será mais eficiente que os atuais combustíveis e zero poluente.

**Palavras chave:** Hidrogênio; Poluição; Aquecimento Global; Novas Tecnologias.

***ABSTRACT** – This article aims to show how hydrogen will replace the use of fossil fuels in aircraft, elucidating the reasons that lead to the modernization of this industry, what changes should be made and when these new technologies will be operating on a large scale. The growth in passenger demand and the increase in the aircraft fleet have an impact on global warming and, from the perspective of making aviation a disruptive industry, focused on zero carbon emissions, researchers have seen hydrogen as a solution in the medium and long term. deadline for this issue. Relevant factors are its high availability in the Earth's atmosphere, the fact that it cannot be found and obtaining zero CO<sub>2</sub> emissions. We sought to analyze not only the advantages of using this gas, but all the challenges and barriers that postpone its debut in the market, as well as its costs, necessary changes in the manufacture of aircraft and engines and the adaptation of airports and employees. The methodology used was of a basic and explanatory nature. It also took into account the way in which airlines have been preparing for*

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciências Aeronáuticas. Endereço eletrônico: filipeturcio@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Possui graduação em Física pela Universidade Federal de Goiás (1998). Mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (1991). Endereço eletrônico: abechepeche@yahoo.com.br.

*the arrival of this moment, as well as the infrastructure that is being set up to start using this new source of aeronautical energy. It was shown that this must be a permanent solution and, when ready, it will be more efficient than current fuels and zero pollutant.*

**Keywords:** *Hydrogen; Pollution; Global Warming; New Technologies.*

## **INTRODUÇÃO**

À medida em que as viagens de avião se popularizaram, mais aeronaves foram produzidas, maiores as frotas das companhias ficaram, mais voos passaram a ser realizados e mais poluentes sendo lançados no céu, e durante anos deixados lá sem a menor preocupação. Com o passar do tempo, o homem viu as consequências dessa poluição e medidas tiveram que ser tomadas. Aviões antigos deram espaço aos mais novos, feitos de materiais mais leves, motores mais econômicos e com uma menor taxa de emissão de dióxido de carbono. Todavia, a quantidade de aviões nos céus diariamente faz com que essas medidas, que um dia já ajudaram, se tornem pouco eficientes quando considerado o cenário completo.

Diante de tal impasse - continuar fazendo de voar um meio de transporte democrático, contudo menos poluente -, pesquisadores, fabricantes de aeronaves e motores, empresas aéreas e aeroportos, além das agências reguladoras e órgãos competentes, começaram a buscar soluções. Tendo como um de seus pilares a utilização de tecnologias ultra modernas, viram no hidrogênio a capacidade de fornecer energia suficiente para a propulsão dos motores, com a vantagem de ser extremamente abundante e ter como resultado de sua queima o vapor de água.

Esse tema mostra-se relevante para a indústria, uma vez que fará da aviação, além de pioneira, exemplo de descarbonização, usando um gás com alta capacidade energética, com inúmeros benefícios, mas também diversas dificuldades. Isso traz alguns desafios, como sua obtenção, novo design das aeronaves para armazenar os tanques criogênicos, adaptação do sistema de abastecimento de aeroportos e o alto preço para a obtenção do hidrogênio verde. Sua entrada no mercado, ainda que prevista somente para a metade da próxima década, mudará os paradigmas deste segmento, fazendo do ato de voar não só um encurtamento de distâncias, mas também uma forma de se locomover sem poluir.

Com o objetivo de expor os motivos pelos quais o hidrogênio foi escolhido como substituto do tradicional combustível de aviação, além de suas vantagens, os desafios envolvidos, os prazos e custos para que essa nova tecnologia esteja disponível e seja usada em larga escala, este trabalho utilizou metodologia de natureza básica e explicativa, a fim de elucidar todos os fatos presentes e palpáveis até o atual momento, bem como as expectativas em torno dessa demanda, que nunca antes se fez tão relevante e urgente. Tornar a aviação zero emissões de carbono é, mais do que nunca, prioridade para a manutenção de uma indústria sólida e cada vez maior e relevante no cenário da globalização.

Este artigo tem como objetivo geral mostrar como será a aviação do futuro, sob o aspecto dos combustíveis, especificamente do hidrogênio, e como objetivos específicos tratar sobre suas vantagens, os desafios e custos de sua entrada em serviço, além da perspectiva de seu uso no dia a dia da aviação civil, sobretudo a comercial.

Este artigo foi dividido em oito seções, que buscam, de maneira sequencial, explicar como os olhares da sociedade se voltaram para a necessidade de uma indústria menos poluente e quais os caminhos serão trilhados até que haja a implementação total do hidrogênio como propulsor de motores.

A primeira seção, denominada “Avanços da aviação”, traz uma breve explanação acerca do crescimento da demanda de voos nas últimas décadas, os percalços ocorridos devido à pandemia de Covid-19, a retomada do mercado no cenário pós-pandêmico e as expectativas das fabricantes de aeronaves sobre como o mercado crescerá nos próximos anos.

A seção de número dois aborda como os motores que equipam os aviões - os emissores da poluição - evoluíram até os dias atuais, diminuindo a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado, mas ainda assim poluindo de maneira significativa.

O terceiro tema tratará sobre qual a participação da aviação nas mudanças climáticas, qual sua porcentagem de responsabilidade nos buracos gerados na camada de ozônio e como são contabilizadas as emissões, que são distintas entre voos realizados sobre países e voos transoceânicos.

Já a quarta seção abordará os aspectos estruturais dos motores que serão movidos à hidrogênio, quais adaptações deverão ser feitas em relação aos motores atuais, além de toda a mudança nos tanques de combustíveis e sistemas que levarão o hidrogênio até à câmara de combustão, haja vista a necessidade de pressurização e baixa temperatura.

No quinto tópico, será trazido para discussão como esse hidrogênio será produzido, quais as fontes de obtenção, quantos tipos de hidrogênio existem, quais as vantagens e desvantagens de cada um e qual deles é o tipo ideal para alcançarmos, de fato, uma aviação zero emissões de CO<sub>2</sub>.

A seção de número seis trata de uma análise sobre todos os custos que a produção e armazenamento do hidrogênio trarão, tema relevante quando lembramos que a maior parte dos custos de um voo vem do combustível e seu preço impacta diretamente nos caixas das companhias aéreas e no valor das passagens.

O tópico sete trará quais adaptações serão necessárias nos aeroportos para abastecimento das aeronaves, armazenamento do combustível e transporte, bem como as mudanças necessárias nos procedimentos de rampa e treinamento dos funcionários.

O artigo finalizará com a seção de número oito, que busca elucidar o motivo pelo qual esse tema foi tratado ao longo do artigo e quais os benefícios da diminuição da poluição. Essa tecnologia vem para quebrar paradigmas e revolucionar o mercado, fazendo com que pessoas que escolhem este meio de transporte não deixem mais uma pegada de carbono por onde passam. Isto mudará o estigma de que a aviação é vilã do meio ambiente, tornando-a sinônimo de revolução e inovação, e focando em uma das necessidades mais urgentes do homem: utilizar a natureza sem acabar com ela.

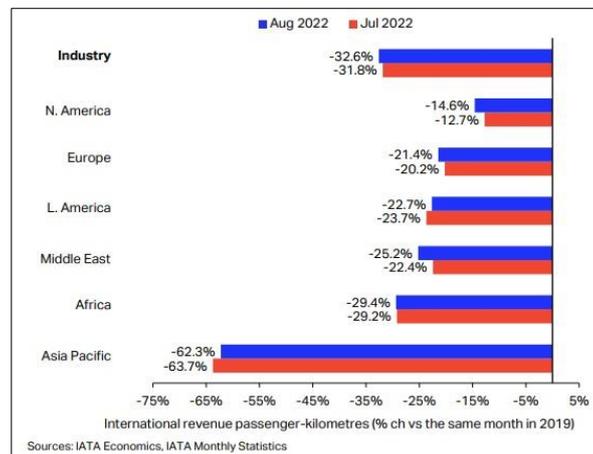
## **1 BREVE HISTÓRICO SOBRE OS AVANÇOS DA INDÚSTRIA AERONAUTICA**

A aviação teve nas últimas décadas um crescimento substancial, sobretudo na demanda de transporte de passageiros. Em seus primórdios, voar era restrito aos mais abastados, contudo, em decorrência da necessidade de tornar o transporte aéreo mais democrático, formas mais acessíveis de voar foram desenvolvidas, atraindo assim uma grande quantidade de público, que almeja viver a experiência de voar, junto ao benefício de pagar barato e chegar mais rápido.

No atual cenário da globalização, o avião é protagonista do encurtamento de distâncias, promovendo agilidade na prestação de serviços e na locomoção de pessoas. Outrossim, esse incremento na quantidade de voos e aeronaves tem contribuído para o aumento da emissão de gases causadores do efeito estufa, o que causa danos ao meio ambiente (BENEFITS BEYOND BORDERS/ATAG, 2021).

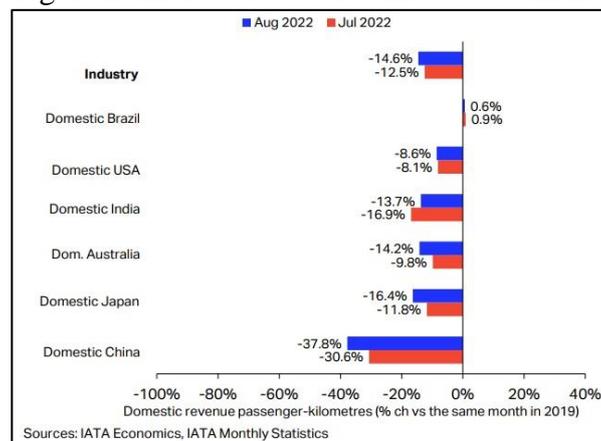
Barrada por uma crise sanitária em 2020, que obrigou o mundo a se isolar, a aviação viveu um de seus momentos mais tenebrosos, tendo milhares de voos cancelados. Aeroportos, que antes estavam cheios de passageiros, agora davam espaço para o vazio no saguão, e taxiways e pistas ficaram cheias de aviões parados, sem data para voltarem aos ares. Porém, tão rápida como sua interrupção, deu-se o seu retorno, o que surpreendeu até mesmo os mais otimistas. Apresentando um firme ritmo de retomada, os indicadores chegaram a um aumento de 67,7% de crescimento em agosto de 2022, quando comparado ao ano de 2021, e, se levados em consideração os níveis pré-pandemia, representa uma retomada de 73,7%, como evidenciado nos gráficos das figuras 1 e 2 (INSTITUTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO, 2020).

Figura 1- Indicadores de retomada de demanda internacional



Fonte: IATA, 2022.

Figura 2- Indicadores de retomada de demanda doméstica



Fonte: IATA, 2022.

Atualmente, levando em consideração o cenário de recuperação das viagens aéreas pós-pandemia, a fabricante de aviões norte-americana Boeing prevê um aumento para as próximas

décadas de 85% na frota das empresas aéreas na América Latina e no Caribe. O Brasil é o principal pilar desse crescimento e responsável por 30% dessas novas aeronaves, que vêm para suprir a demanda gerada pelo aumento do número de passageiros e para substituir antigos modelos, que além de consumirem mais combustível, emitem um alto número de CO<sub>2</sub> (BOEING, 2022).

Enquanto a quantidade de passageiros aumentava, as tecnologias avançaram e os motores aeronáuticos, antes causadores de uma significativa emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hoje estão aprimorados e emitem menos poluentes do que emitiam décadas atrás. Todavia, essa redução encontra-se distante do ideal para a promoção de uma aviação com pouco impacto ambiental e zero emissão de CO<sub>2</sub>. O uso do combustível fóssil ainda é um grande problema que precisa de solução. A cada ano sua substituição faz-se mais necessária, e o desenvolvimento de novos combustíveis está cada vez mais em evidência (BENRFITS BEYOND BORDERS/ATAG, 2020).

### **1.1 Evolução dos motores aeronáuticos**

No ano de 1949, a Havilland lançou a primeira aeronave comercial equipada com motores turbojato, o DH106 Comet, a qual possuía quatro motores Halford H.2. Já a americana Boeing, em 1954, lançou o bem-sucedido Boeing 707, equipado com motores PW JT3C-6, da fabricante Pratt & Whitney. Este avião foi o responsável por dar início à chamada “era dos jatos” na aviação civil. A partir de então, as aeronaves começaram a ganhar mais velocidade, porém a poluição causada pela queima de combustível em suas câmaras de combustão era visível a olho nu. No Brasil, empresas como VARIG e VASP voaram aeronaves com essa tecnologia, entretanto os motores turbojato foram retirados de circulação em consequência da quantidade de poluentes que liberavam no ar (OLIVER, 2014).

Segundo Ubiratan (2014), anos após o advento dos motores a jato, uma nova tecnologia em propulsão de aeronaves foi desenvolvida. Com o surgimento do Boeing 747, nasceram também os motores turbofan, fruto da necessidade de maior eficiência e grande potência. O incremento de um “fan”, que é uma espécie de ventoinha alocada na parte da entrada de ar do motor, contribui para um menor consumo de combustível se comparado ao turbojato, além de fazer com que o ruído diminua consideravelmente e sua potência aumente. Consequentemente, a emissão de CO<sub>2</sub> também diminuiu em pequena quantidade.

A partir de então, uma vasta quantidade de motores aeronáuticos foi construída e equiparou as mais diversas aeronaves, tanto civis quanto militares. Nesta esteira de evolução, a fabricante Pratt & Whitney lançou motores denominados PurePower, usando tecnologia geared turbofan. Essa tecnologia promove redução no consumo de combustível, menor emissão de ruídos e uma diminuição significativa de emissão de substâncias prejudiciais ao meio ambiente. (UBIRATAN, 2014).

A AIRBUS fabrica a família de aviões mais vendida do segmento, a família A320. Segundo a Engines (2018), seu motor que equipa essas aeronaves, o PW1100G, é mais eficiente que os motores de antiga geração a qual ele substitui, sendo capaz de uma diminuir o lançamento de gases que afetam o aquecimento global. A família A320 NEO (New Engine Options), em todas as suas variantes (A319, A320 e A321) está equipada com esses motores, que entraram em operação no ano de 2016.

## **1.2 Impactos dos motores aeronáuticos na emissão de CO<sub>2</sub>**

Um tema muito controverso e altamente discutido é o impacto da aviação nas mudanças climáticas, em especial sua participação no aquecimento do planeta. Estima-se que a aviação em geral seja responsável por emitir apenas 2,5% de todo o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera. Entretanto, cerca de 80% da população mundial não voa com frequência ou até mesmo nunca voou. Outro ponto a se considerar é a maneira como essas emissões são contadas. Em voos domésticos, as emissões são atribuídas ao país no qual o voo foi realizado, todavia, quando levado em conta os voos transoceânicos, as emissões são consideradas “combustíveis de bunker”, ou seja, nenhum país é responsável por essas emissões (RITCHIE, 2020).

Ainda de acordo com a autora citada no parágrafo anterior, ao contrário do dióxido de carbono e dos gases mais comuns listados no Acordo de Paris, existem outras forças não-CO<sub>2</sub> que são comumente deixadas de lado, principalmente quando se leva em consideração que as emissões de voos internacionais não são contabilizadas por nenhum país. A título de elucidação, e considerando todo o globo, a aviação é responsável por emitir 2,5% de CO<sub>2</sub>, 1,9% de gases do efeito estufa (gases no geral, além do dióxido de carbono).

No entanto, em entrevista para a revista DW, o professor e coeditor do livro *Climate change and aviation: Issues, challenges and solutions*, Stefan Gössling, diz que a contribuição da aviação para o efeito estufa é pelo menos duas vezes maior, chegando a 5%, quando levado

em consideração não apenas o efeito isolado do CO<sub>2</sub>. Não obstante, o grupo ambiental Germanwatch realizou alguns anos atrás um cálculo a fim de demonstrar quanto uma única pessoa emite de CO<sub>2</sub> em um voo entre a Alemanha e o Caribe. O resultado mostrou que o passageiro impacta o meio ambiente com quatro toneladas métricas de dióxido de carbono, o que corresponde ao volume produzido em média por 80 residentes da Tanzânia (SULLIVAN, 2018).

O grande desafio que a indústria aeronáutica vem enfrentando é o desenvolvimento de novas tecnologias e novos combustíveis capazes de descarbonizar o setor. Quando abordado energia ou o transporte terrestre, já é possível vislumbrar o advento de tais medidas, faltando apenas sua utilização em larga escala. De outro modo, na aviação vê-se uma solução ainda distante da realidade. A AIRBUS, por exemplo, espera colocar em serviço uma aeronave com zero emissão somente na metade da próxima década, e suas concorrentes seguem o mesmo caminho, deixando evidente que as soluções ainda estão presentes tão só no horizonte (RITCHIE, 2020).

## **2 PRODUÇÃO E CUSTO DO HIDROGÊNIO**

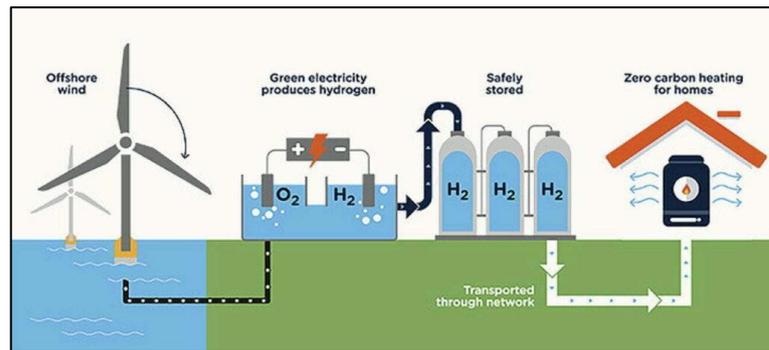
### **2.1 Produção do hidrogênio**

Considerado como o combustível do futuro, o hidrogênio é extremamente abundante na atmosfera, é renovável e, como resultado de sua queima, libera vapor de água e calor, sendo assim uma fonte de energia limpa. Podendo ser extraído de diversas fontes, é subdividido em verde, azul e cinza, de acordo com a fonte de obtenção. Por ser inesgotável, o desenvolvimento de tecnologias e o uso em larga escala solucionam o problema da emissão de CO<sub>2</sub> a médio e longo prazo, característica que o coloca na frente das demais fontes de energia (DEWAN, 2021).

Hodiernamente, o hidrogênio cinza é o mais utilizado, sendo obtido por meio de gás natural, e faz uso de combustíveis fósseis como fonte de energia. Sua extração é relativamente barata. Todavia, durante a extração do gás natural, é liberado dióxido de carbono, que pode escapar para a atmosfera e se tornar desse modo um causador do efeito estufa. Já o hidrogênio azul é chamado de gás de baixa emissão, pois durante seu processo de obtenção, similar ao do cinza, o CO<sub>2</sub> resultante é capturado e não jogado na atmosfera (DEWAN, 2021).

Por sua vez, o hidrogênio verde, é obtido mediante eletrólise da água (envio de corrente elétrica através da água para a separação das moléculas). Quando é plenamente fornecido por fontes renováveis como a eólica e solar, se torna uma fonte com zero emissão, como pode ser visto na figura 4. Entretanto, os altos custos das máquinas que realizam essa separação inviabilizam sua produção em larga escala, fazendo com que o hidrogênio azul ocupe o primeiro lugar de fonte de combustível criogênica mais utilizada (DEWAN, 2021).

Figura 4- Hidrogênio verde, o que é?



Fonte: VIRI (2021).

Ainda de acordo com Dewan (2021), o hidrogênio azul corresponde a 95% do total produzido em 2020. Para o ano de 2050, espera-se que ele passe a corresponder a apenas 35%, quando o verde assumirá o primeiro lugar, com participação de 62%. A fim de alcançar tais metas, a indústria visa desenvolver tecnologias buscando facilitar a produção, a disponibilidade e a maior competitividade entre os preços do hidrogênio verde em relação ao azul até o ano de 2030.

## 2.2 Custo de produção do hidrogênio

O processo de obtenção do hidrogênio verde, considerado como solução para emissões de CO<sub>2</sub>, ainda custa caro, uma vez que se deve retirá-lo de fontes inteiramente renováveis. Além disso, muito embora seja o elemento mais abundante da Terra, este gás não está disponível em sua forma pura, pois está sempre associado a outros elementos. Desse modo, seus custos de obtenção podem variar de acordo com o custo da energia renovável de cada região (VIRI ; TEIXEIRA JR, 2021).

No ano de 2019, a Agência Internacional de Energias Renováveis evidenciou por meio de suas pesquisas que o custo para produção de hidrogênio verde pode cair em mais de um terço, deixando de custar 6 dólares por quilo, e passando a custar entre 1 e 2 dólares por quilo, até o ano de 2030. Então, além de mais interessante para substituição do hidrogênio cinza, ele se tornará um excelente substituto dos combustíveis fósseis em alguns segmentos da economia (VIRI; TEIXEIRA JR, 2021). Entretanto, uma outra pesquisa realizada pela consultoria Wood Mackenzie estimou que a conformidade entre o hidrogênio verde e o cinza deve chegar, em média, até o ano de 2040.

Sem embargo, para alguns países, como Alemanha, essa paridade pode ocorrer ainda em 2030. Além dos custos de produção, o armazenamento e o transporte oneram sua utilização. Por ser um gás extremamente leve (o mais leve do universo), precisa ser comprimido ou mantido em estado líquido para que passe por gasodutos ou seja transportado de navio, tornando assim seu preço menos atrativo em comparação com gases mais densos, a exemplo do gás natural (VIRI; TEIXEIRA JR, 2021).

### **3 PERSPECTIVA SOBRE MOTORES AERONÁUTICOS À HIDROGÊNIO**

Visando essa nova era da aviação, em que os voos serão zero emissões de carbono, não só será necessária uma mudança de combustível, como também nos motores que equiparão os futuros aviões. Em fevereiro deste ano, a fabricante Pratt & Whitney anunciou que desenvolverá um motor a reação que utilizará o hidrogênio como fonte de energia. Esse desenvolvimento de uma nova tecnologia será feito em parceria com o Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, como parte da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada - Energia (ARPA-E) (BASSETO, 2022).

Além de ser zero emissão de CO<sub>2</sub> em voo, esse mecanismo ainda diminuirá as emissões de óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) em até 80%, e reduzirá o consumo da nova geração de aeronaves de corredor único em até 35%. Esse novo motor a turbina será movido a hidrogênio de vapor injetado e inter-resfriado (HySIITE), utilizando hidrogênio líquido e vapor de água, que, por meio de um ciclo termodinâmico, incorporará injeção de vapor para redução considerável de NO<sub>x</sub>, gás que também causa efeito estufa. Buscando participar dos avanços, a fabricante de motores CFM International fechou nos primeiros meses de 2022 uma parceria com a AIRBUS,

para desenvolver e testar uma nova tecnologia de motores movidos exclusivamente a hidrogênio (BASSETO, 2022).

A fabricante europeia designou seu maior avião, o AIRBUS A380, para se tornar uma plataforma de testes, onde serão instalados tanques criogênicos e um sistema que levará esse combustível até os propulsores, além de equipamentos que farão o monitoramento de seu desempenho (LUSA, 2022). Já a CFM International focará na modificação do seu motor Passport. Esse modelo já é amplamente usado em aeronaves de pequeno porte, e é considerado uma versão em escala reduzida do LEAP, que equipa os A320 NEO e os Boeing 737 MAX. Para tais testes, mudanças na câmara de combustão, no circuito de carburação e no sistema de comando do turborreator serão feitas para que ele seja capaz de queimar o hidrogênio. A expectativa é de que os testes em voo de cruzeiro comecem em meados de 2026 e de que essa tecnologia esteja disponível para entrada em operação em larga escala em 2035 (LUSA, 2022).

Para a alimentação desses motores, alterações nos tanques de combustíveis e nos dutos que levarão o hidrogênio até a câmara de combustão precisam ser feitas. Os tanques deixarão as asas e ocuparão espaços na fuselagem, como mostrado na figura 3, e, segundo o design prévio de algumas aeronaves, ficarão na parte traseira do avião. Além disso, o hidrogênio precisa ser mantido a 250 graus celsius negativos e liquefeito. Os tanques devem ser em formato cilíndrico ou redondo, capazes de suportar mudanças significativas de pressão e temperatura características das operações de aeronaves, e possuir o menor peso possível (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2021).

Figura 3- Avião a hidrogênio



Fonte: VALDUGO, 2021.

Estima-se que os tanques com essas tecnologias estejam disponíveis em sete anos. A AIRBUS, por exemplo, destinou duas fábricas para desempenho exclusivo desse projeto,

esperando produzir o primeiro tanque ainda no ano de 2023. As perspectivas mais otimistas evidenciam que em 2035 uma aeronave regional estará voando com essas novas particularidades; entretanto, os mais conservadores alertam que essa mudança pode ocorrer apenas em 2050, deixando a aviação de longo curso ainda mais distante de ser zero emissões (VALDUGA, 2021).

### **3.1 Operação nas empresas aéreas e aeroportos**

A entrada do hidrogênio como fonte de energia para os motores aeronáuticos fará com que haja a necessidade de mudanças não só na parte estrutural das aeronaves, motores e tanques, mas em toda a configuração aeroportuária e na maneira como os aviões serão tratados pelos funcionários de solo. Desse modo, a companhia aérea norte-americana Delta Airlines assinou um Memorando de Entendimento com a AIRBUS para desenvolverem não apenas uma aeronave, mas todo o ecossistema forçoso para a transição das antigas aeronaves para as novas (EQUIPE, 2022).

Para tanto, serão traçadas três áreas de foco, sendo elas: conceito da aeronave, ecossistema da aviação e construção de coalizões. A Delta busca compreender quais serão as limitações de autonomia do novo avião, o tempo de reabastecimento, a compatibilidade com os aeroportos, o encaixe dentro da frota, além da infraestrutura para produção de hidrogênio verde e quanto custará a implementação nos aeroportos e como será regularizado. Para a vice-presidente de Comunicações e Assuntos Corporativos da Airbus Julie Kitcher, “para descarbonizar a aviação, precisamos desenvolver as bases tecnológicas certas e um ecossistema dinâmico de hidrogênio” (EQUIPE, 2022).

O Reino Unido também entrou nessa corrida, buscando desenvolver um projeto totalmente baseado no hidrogênio como alimento para propulsão. Batizado de Fly Zero, o avião foi desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia Aeroespacial, e promete voar na mesma velocidade que as atuais aeronaves, tendo como bônus o fato de não emitir poluentes e ter uma autonomia aumentada. Esse propósito visa estar na vanguarda no que tange ao desenvolvimento de aviões zero emissões, além de ser apoiado pelo governo britânico. Espera-se que esse prospecto realize voos entre Londres e San Francisco, sem emitir poluição. Acredita-se que até o ano de 2030 esse avião já esteja disponível (AQUINO, 2021).

### **3.2 Benefícios para diminuição da poluição**

Segundo um estudo liderado pela Universidade de Manchester, entre os anos de 1940 e 2018 a aviação liberou cerca de 32,6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre, sendo pelo menos metade dessa quantidade apenas nos últimos 20 anos - isso levando em consideração o tamanho das frotas, consequência do aumento de número de passageiros, e o grande crescimento da aviação na Ásia. Ainda nessa pesquisa, foi possível identificar que um terço do total de poluição gerada corresponde a emissão de dióxido de carbono, que teve papel relevante no aquecimento global (KLEIN, 2022).

As empresas aéreas integrantes da Associação Internacional do Transporte Aéreo (IATA), em outubro de 2021 firmaram o compromisso de ser zero emissão até o ano de 2050, e para tal utilizarão, além de biocombustíveis, novas propulsões, compensações e captura de CO<sub>2</sub> e diferentes tecnologias para tornarem as operações mais eficientes (KLEIN, 2022).

Tendo em vista essa necessidade, o hidrogênio será responsável por evitar que pelo menos um terço da poluição direta gerada pelos aviões através da liberação de dióxido de carbono. Com isso, haverá menor impacto no aumento do efeito estufa, contando com a utilização de um combustível extremamente abundante e renovável. Em julho deste ano, 119 países se reuniram na sede da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) para debater quais caminhos serão seguidos e quais apoios governamentais serão obtidos (KLEIN, 2022).

As novas aeronaves, as pesquisas para o uso do hidrogênio verde e os motores em desenvolvimento estarão, segundo as projeções, disponíveis dentro desse prazo, como forma de serem o pilar na transformação da aviação como se conhece atualmente. O hidrogênio será responsável por 13% das novas tecnologias mitigadoras da poluição, sendo preciso eliminar algo em torno de 1,8 gigatoneladas de carbono até 2050 (WALSH, 2021).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por muitos séculos o homem acreditava ser maior que a natureza, podendo fazer dela uma refém de suas vontades, escrava de seus abusos e fonte inesgotável de todas as suas necessidades. Mas, com o tempo, as revoluções industriais, os carros, o aumento da população, as mega cidades, os aviões e a globalização, percebeu-se que reféns somos nós dessa natureza

que não aceita ser mal tratada e precisa de atenção imediata se quisermos resolver os problemas causados.

Levando isso em consideração e entendendo que a aviação ocupa lugar de destaque no encurtamento de distâncias intrínseco à globalização, além de ser contribuir com até 5% da poluição atmosférica, foi notada a necessidade de buscar novas fontes de combustível para alimentar as aeronaves. Desse anseio e do resultado de pesquisas, ainda em fase inicial, percebeu-se que o hidrogênio ocupa lugar de protagonista, uma vez que é inesgotável, o resultado de sua queima é vapor de água, é extremamente abundante no planeta e sua captação também pode ser feita sem a liberação de CO<sub>2</sub>.

Diante dos dados disponíveis e das pesquisas já realizadas, foi possível trazer para esse estudo informações que evidenciam o quanto caminha-se sobre algo concreto, definitivo e que se tornará referência em descarbonização dos meios de transporte movidos a combustíveis fósseis. Sempre se destacando por pertencer à vanguarda, a indústria aeronáutica e todos os seus envolvidos trabalham em um esforço conjunto para zerar as emissões de dióxido de carbono até o ano de 2050. Reuniões e consultas realizadas pela IATA e pela OACI reforçam esse compromisso e o empenho de fabricantes e empresas aéreas.

Ainda há um longo caminho para ser percorrido, haja vista que as pesquisas contemplam apenas o plano das previsões e expectativas. Os testes, que estão previstos para começarem ainda nesta década, mostrarão se de fato esse caminho abrange as necessidades tão bem como preveem os estudos. Para tanto, aviões, sistemas de combustíveis e motores já estão sendo modificados e preparados. Grandes empresas, como a AIRBUS e a Delta Airlines, já se associaram e esperam fazer do hidrogênio o cerne da alimentação dos aviões.

Contudo, diante dos dados disponíveis, essa pesquisa não é capaz de trazer como essas mudanças e o uso do hidrogênio se comportarão, nem como os processos e colaboradores ligados a esta área trabalharão, deixando aberto um espaço para novas discussões e atualizações. Porém, busca servir como ponto de partida de um debate que nunca antes se fez tão relevante e urgente, além de se embasar em pesquisas sólidas e promissoras, realizadas e checadas por grandes empresas e pesquisadores.

Não há dúvidas de que, para a adoção do hidrogênio como combustível de aviões, sobretudo em larga escala, enfrentaremos inúmeros desafios, desde sua obtenção até a mudança no projeto dos aviões e os sistemas de transporte e armazenamento nos aeroportos. No entanto, os benefícios e vantagens são proporcionalmente grandes e motivadores, ademais, como fonte

inesgotável, o hidrogênio consegue solucionar o problema da poluição a médio e longo prazo, o que o faz ainda mais interessante.

## REFERÊNCIAS

Aviation Benefits Beyond Borders. **Aviation: Benefits Beyond Borders**. 2020. Disponível em: <https://aviationbenefits.org/downloads/aviation-benefits-beyond-borders-2020/>. Acesso em: 10 ago. 2022.

AEROLN. **O tráfego total (RPKs) aumentou 67,7% em agosto de 2022 em relação a agosto de 2021, globalmente**. 2022. Disponível em: <https://www.institutoaviacao.org/noticia/o-trafego-total-rpks-aumentou-67-7-em-agosto-de-2022-em-relaa-a-o-a-agosto-de-2021-globalmente#:~:text=O%20tr%C3%A1fego%20internacional%20aumentou%20115,n%C3%ADveis%20de%20agosto%20de%202019>. Acesso em: 10 ago. 2022.

AQUINO. R. **Avião movido a hidrogênio pode ser o futuro da aviação “limpa”**. 2021. Disponível em: <https://tecmasters.com.br/aviao-hidrogenio-futuro-aviacao-limpa/>. Acesso em: 20 out. 2022.

BASSETO. M. **EUA escolhe Pratt & Whitney para criar revolucionário motor aeronáutico a hidrogênio e vapor**. 2022. Disponível em: <https://aeroin.net/eua-escolhe-pratt-whitney-para-criar-revolucionario-motor-aeronautico-a-hidrogenio-e-vapor/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BOEING. **Boeing prevê que a frota de aeronaves da América Latina quase dobrará nos próximos 20 anos – Brasil lidera essa demência**. 2022. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/noticias-e-sala-de-imprensa/releases/2022/outubro/boeing-prev%C3%AA-que-a-frota-de-aeronaves-da-am%C3%A9rica-latina-quase-dobrar%C3%A1-nos-pr%C3%B3ximos-20-anos.page?>. Acesso em: 20 out. 2022.

DEWAN. A. **Hidrogênio verde pode ser o combustível do futuro. Mas ainda não deve resolver todos os problemas**. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/o-hidrogenio-verde-pode-ser-o-combustivel-do-futuro-mas-ainda-nao-deve-resolver-todos-os-problemas/>. Acesso em: 25 out. 2022.

ENGINES, Pratt & Whitney. **PW1100G-JM: Powering The Airbus A320NEO**. USA: [s. n.], 2018.

EQUIPE. **Delta e Airbus desenvolverão aeronave movida a hidrogênio**. 2022. Disponível em: <https://passageirodeprimeira.com/delta-e-airbus-desenvolverao-aeronave-movida-a-hidrogenio/>. Acesso em: 22 out. 2022.

HOMA, J. **Aeronaves e Motores: Conhecimentos Técnicos**. 35. ed. São Paulo-SP: ASA, 2015. 188 p

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO. **Fabricante de aeronaves apresenta três conceitos de aviões movidos a hidrogênio para 2035.** 2020. Disponível em: <https://institutoaviacao.org/noticia/fabricante-de-aeronaves-apresenta-tra-s-conceitos-de-avia-es-movidos-a-hidrogenio-para-2035#:~:text=Tanque%20criog%C3%AAAnico&text=Os>. Acesso em: 25 out. 2022.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Aviões a hidrogênio prometem aviação livres de emissões.** 2021. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2021/12/08/avioes-a-hidrogenio-prometem-aviacao-livres-de-emissoes/>. Acesso em: 10 out. 2022.

KLEIN, L. **Aviação sustentável: o que as companhias estão fazendo para reduzir as emissões e outros impactos.** 2022. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2022/08/15/aviacao-sustentavel-o-que-as-companhias-estao-fazendo-para-reduzir-as-emissoes-e-outros-impactos.ghtml>. Acesso em: 25 out. 2022.

LUCIO, R. **Hidrogênio verde, o que é?** 2022. Disponível em: <https://energiainteligenteufjf.com.br/energia-2/hidrogenio-verde-o-que-e/>. Acesso em: 25 out. 2022.

LUSA. **Airbus e CFM testam sistema de propulsão a hidrogênio para aviões.** 2022. Disponível em: <https://www.noticiasaoiminuto.com/mundo/1938922/airbus-e-cfm-testam-sistema-de-propulso-a-hidrogenio-para-avies>. Acesso em: 28 out. 2022.

OLIVER, S. A primeira geração de jatos. **Revista Aero Magazine**, São Paulo-SP, 246, p. 12-14, nov. 2014.

PAVAN, C. J. S. **Estudo do hidrogênio como combustível em aeronaves remotamente pilotadas [ARP].** 2016. Disponível em: [http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/5005/1/Carlos\\_Jose\\_Sabaini\\_Pavan.pdf](http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/5005/1/Carlos_Jose_Sabaini_Pavan.pdf). Acesso em: 25 out. 2022.

RITCHIE, H. **Climate change and flying: what share of global CO2 emissions come from aviation?** 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation>. Acesso em: 25 out. 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\\_Combust%C3%ADvel\\_Sustent%C3%A1vel\\_-\\_Hidrog%C3%AAnio\\_PDF.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24305/4/TCC_Combust%C3%ADvel_Sustent%C3%A1vel_-_Hidrog%C3%AAnio_PDF.pdf). Acesso em: 25 out. 2022.

STAHLHOEFER, P. H. **Validades dos combustíveis atuais e possíveis alternativas.** 2021. Disponível em: [https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3287/1/Viabilidade\\_dos\\_combust%C3%ADveis\\_aeron%C3%A1uticos\\_atuais\\_e\\_poss%C3%ADveis\\_alternativas.pdf](https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3287/1/Viabilidade_dos_combust%C3%ADveis_aeron%C3%A1uticos_atuais_e_poss%C3%ADveis_alternativas.pdf). Acesso em: 30 out. 2022.

SULLIVAN, A. **O impacto ambiental das viagens aéreas**. 2018. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/qual-%C3%A9-o-impacto-ambiental-das-viagens-a%C3%A9reas/a-42118916>. Acesso em: 25 out. 2022.

UBIRATAN, E. **Evolução a jato**. 2014. Disponível em: [https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/evolucao-jato\\_1498.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/evolucao-jato_1498.html). Acesso em: 15 out. 2022.

VALDUGO, F. **Airbus abre duas unidades para produzir tanques criogênicos de hidrogênio**. 2021. Disponível em: <https://www.cavok.com.br/airbus-abre-duas-unidades-para-produzir-tanques-criogenicos-de-hidrogenio>. Acesso em: 25 out. 2022.

VIANA, P. **Como funciona a propulsão com hidrogênios em aviões?**. 2020. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/propulsao-com-hidrogenio-em-avioes/>. Acesso em: 25 set. 2022.

VIRI, N.; JUNIOR, S. T. **O que é o hidrogênio verde — e porque ele promete ser o combustível do futuro**. 2021. Disponível em: <https://www.capitalreset.com/o-que-e-o-hidrogenio-verde-e-por-que-ele-promete-ser-o-combustivel-do-futuro/>. Acesso em: 25 se

**RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE**

**ANEXO I**

**APÊNDICE ao TCC**

**Termo de autorização de publicação de produção acadêmica**

O(A) estudante Filipe Turcio Senato  
do Curso de Ciências Aeronáuticas, matrícula 2019.1.0047.0012-0,  
telefone: (62) 98528-8411 e-mail filipeturcio@hotmail.com,  
na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 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  
Uso de hidrogênio como combustível de aeronaves.  
\_\_\_\_\_, 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, 28 de setembro de 2022.

Assinatura do autor: Filipe Turcio

Nome completo do autor: Filipe Turcio Senato

Assinatura do professor-orientador: Anna Paula

Nome completo do professor-orientador: Anna Paula Bechepche