



A AVIAÇÃO CIVIL E O USO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL

Jairo Afonso Henkes¹

A aviação civil estuda o uso do hidrogênio como uma fonte de energia promissora para a aviação. O Hidrogênio tem o potencial para reduzir as emissões de carbono, porém enfrenta desafios tecnológicos, especialmente para o armazenamento do combustível dentro das aeronaves, aliadas a necessidade de se elaborar uma estrutura de produção e distribuição em grande escala.

A empresa Airbus, uma gigante da indústria aeronáutica está desenvolvendo aeronaves movidas a hidrogênio, focando na tecnologia de células de combustível para propulsão, com o objetivo de lançar um modelo comercial até meados da década de 2030. As pesquisas demonstram que o hidrogênio (H₂) virá a desempenhar papel fundamental nas futuras soluções tecnológicas, capaz de contribuir na descarbonização do setor e redução das emissões de GEE da aviação civil. Um dos maiores desafios para seu desenvolvimento e implantação será o armazenamento a bordo. Entre os benefícios esperados estão:

- Redução de emissões:
- O hidrogênio, quando produzido a partir de fontes renováveis, pode levar a uma aviação com emissão zero de CO₂, combatendo as mudanças climáticas.
- Ser alternativa aos combustíveis fósseis:
- O hidrogênio reduz a dependência da aviação em combustíveis de origem fóssil, e tem maior versatilidade.

Entre os desafios tecnológicos, o hidrogênio tem uma baixa densidade volumétrica e precisa ser armazenado a temperaturas muito baixas (-253 °C), exigindo tanques mais volumosos e tecnologias avançadas de criogenia e

armazenamento. Por isso será importante criar uma infraestrutura necessária para se garantir a produção de hidrogênio em larga escala e desenvolver centros de abastecimento nos aeroportos. Empresas como a ZeroAvia estão realizando testes de voo para validar motores a hidrogênio, expandindo progressivamente o alcance dos voos.

Alguns avanços e perspectivas são destaque, entre elas:

- A tecnologia de células de combustível foi selecionada pela Airbus como a opção mais viável para sua futura aeronave movida a hidrogênio.
- A previsão de lançamento de aeronaves comerciais movidas a hidrogênio aponta para meados da década de 2030.
- A indústria está focada em aprimorar a tecnologia de propulsão e desenvolvimento de motores, como o motor a célula de combustível ZA2000, que consome significativamente menos combustível.

Dois fatores fazem do H₂ uma solução interessante, por um lado, o fato de ser possível produzi-lo e consumi-lo sem emitir CO₂ e, por outro, o fato de que o H₂ está disponível em grande quantidade na água; o hidrogênio por consequência pode ser um potencializador para que o setor possa alcançar os objetivos de transição dos combustíveis fósseis para as energias limpas (renováveis). As atividades de investigação, pesquisa e desenvolvimento revelam resultados promissores, mas é necessário dar-lhes continuidade na área do hidrogênio como combustível para a aviação.

De sua parte a União Europeia intensifica suas atividades através de uma série de iniciativas, em documento destaca o papel que deverão desempenhar os investimentos da UE em pesquisa e inovação no setor do hidrogênio (Comissão Europeia, 2022). Apresenta-se a seguir uma abordagem panorâmica das vantagens do H₂ (líquido e gasoso) para a propulsão aeronáutica, bem como em que medida e por que meios o hidrogênio poderá ser parte integrante deste tipo de propulsão.

Para poder considerar o H₂ uma tecnologia eficiente e eficaz para a aviação e compreender o seu pleno potencial, é necessário examinar as suas características específicas e ter em conta o seu ciclo de vida, desde a produção até à aplicação. A produção de H₂ a partir de energias renováveis não emite CO₂ como subproduto,

tornando-o uma escolha interessante e evidente nos esforços globais dedicados à redução das emissões de CO₂ no setor da aviação. Estão em estudo dois cenários/soluções principais:

- A redução das emissões brutas de carbono na aviação, com o objetivo de alcançar emissões de carbono zero a longo prazo;
- A redução gradual de todas as emissões na aviação para alcançar emissões zero (EASA, 2025).

A Figura 1 apresenta o papel que o H₂ (líquido e gasoso) pode desempenhar na concretização da neutralidade carbônica na aviação.

Figura 1 - Papel do H₂ (líquido e gasoso) pode desempenhar na concretização da neutralidade carbônica na aviação

	CO ₂ emissions	NO _x emissions	Contrails	Fuel Volume	Fuel + Propulsion System Mass	Supply chain / infrastructure
Liquid H₂ fuel cell <i>H₂ generates electricity via an electrochemical reaction between hydrogen and oxygen, used for thrust.</i>						
Liquid H₂ combustion <i>H₂ is burned in a modified gas-turbine engine to generate thrust.</i>						
Gaseous H₂ fuel cell <i>H₂ generates electricity via an electrochemical reaction between hydrogen and oxygen, used for thrust.</i>						
Gaseous H₂ combustion <i>H₂ is burned in a modified gas-turbine engine to generate thrust.</i>						

Fonte: Easa, 2025.

Legenda: o verde indica benefício elevado, a cor laranja indica benefício moderado e o vermelho indica benefício insuficiente nesta fase.

O Hidrogênio (H₂) tem menor densidade energética, por isso é necessário armazenar um volume maior de combustível a bordo das aeronaves em comparação com os combustíveis de aviação atuais para essas aeronaves percorram a mesma distância. Os volumes dos reservatórios de combustível existentes só permitem percorrer distâncias muito curtas e a sua atual localização nas asas da aeronave, não permitiria o armazenamento de H₂ na forma gasosa ou líquida (EASA, 2025).

Além disso, a infraestrutura e a cadeia de abastecimento necessária para garantir a disponibilidade de H₂ nos aeroportos são elementos a considerar antes da realização de serviços regulares. Certos segmentos da aviação civil, como os voos entre o domicílio e o trabalho, os voos regionais, os voos de curta e média distância, podem receber prioridade na utilização do H₂ como combustível para a aviação. A utilização do H₂ em aviões de passageiros de maior dimensão implicaria alterações significativas na concepção das aeronaves para permitir o volume necessário de hidrogênio (EASA, 2025).

A segurança dos passageiros é fundamental e todos os novos projetos que integrem o hidrogênio como combustível para a aviação deverão cumprir as especificações aplicáveis, garantindo a manutenção em elevados níveis de segurança esperados. A EASA continua a desempenhar um papel fundamental, fazendo parte da 'Parceria para a Aviação Limpa', na qual peritos em certificação e equipes de investigação trabalham em estreita colaboração com a iniciativa para o hidrogênio limpo, que sucede o projeto *Clean Sky* para ajudar a reduzir as emissões na aviação (EASA, 2025).

A aviação é um dos setores mais desafiadores na luta contra as mudanças climáticas devido à sua alta dependência de combustíveis fósseis e às significativas emissões de carbono. Com o crescente compromisso global de reduzir a pegada de carbono, a busca por alternativas sustentáveis ao querosene de aviação tradicional se intensificou. Entre essas alternativas, o hidrogênio se destaca como uma das mais promissoras para transformar a indústria aeronáutica, proporcionando uma solução viável para voos de longa distância e reduzindo substancialmente as emissões de gases de efeito estufa.

O projeto *Climate Impulse*, liderado pelo explorador suíço Bertrand Piccard, é uma iniciativa ambiciosa que busca demonstrar o potencial do hidrogênio como combustível sustentável para a aviação. Piccard, que já fez história ao completar a volta ao mundo com um avião solar na missão *Solar Impulse* entre 2015 e 2016, está agora focado em uma nova fronteira da aviação sustentável. A equipe do *Climate Impulse* está desenvolvendo uma aeronave movida a hidrogênio com o objetivo de ser a primeira a circunavegar o globo sem escalas (Exame, 2024).

O objetivo do Climate Impulse é realizar este voo histórico em 2028, com testes planejados para começar em 2026. A aeronave será projetada para utilizar hidrogênio líquido, que necessita ser mantido em temperaturas extremamente baixas, próximas ao zero absoluto. Esse requisito apresenta desafios significativos em termos de design e engenharia, especialmente na construção de tanques de armazenamento que possam manter o hidrogênio em estado líquido durante longos períodos (Exame, 2024).

O hidrogênio oferece várias vantagens em comparação com outras alternativas de combustível sustentável. Ao contrário das baterias elétricas, que são pesadas e limitam a capacidade de carga das aeronaves, o hidrogênio possui uma densidade energética muito maior. Isso significa que ele pode fornecer a mesma quantidade de energia que os combustíveis fósseis, mas com menos peso, tornando-o mais eficiente para voos de longa distância. Além disso, quando utilizado em células de combustível, o hidrogênio gera eletricidade com a emissão de apenas vapor d'água, eliminando praticamente todas as emissões de carbono.

A transição para a aviação movida a hidrogênio, no entanto, não é simples. Envolve uma reestruturação completa da infraestrutura aeroportuária, incluindo a instalação de estações de abastecimento de hidrogênio e o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção e armazenamento seguro do combustível. Apesar desses desafios, a indústria está avançando rapidamente. Vários fabricantes de aeronaves e companhias aéreas já estão investindo em pesquisas e testes de protótipos movidos a hidrogênio (Exame, 2024).

A iniciativa Climate Impulse não apenas busca realizar um feito histórico, mas também inspirar a indústria aeronáutica global a adotar práticas mais sustentáveis. Através da demonstração prática das capacidades do hidrogênio, o projeto visa catalisar inovações e investimentos em tecnologias limpas. Isso é crucial, pois a aviação representa uma parcela significativa das emissões globais de carbono, e encontrar uma solução viável para reduzir essas emissões é imperativo para alcançar as metas climáticas internacionais (Olivieri, 2024).

A próxima fronteira na aviação será a propulsão com hidrogênio, pois ele tem o potencial de desempenhar um papel crucial na descarbonização da aviação à longo prazo e de promover uma revolução no transporte aéreo comparável à dos

veículos elétricos no setor automotivo. Para tanto, a ambição da Airbus é lançar uma aeronave comercial movida a hidrogênio. O projeto ZEROe foi lançado em 2020 para explorar a viabilidade de duas tecnologias principais de propulsão a hidrogênio: combustão de hidrogênio e células de combustível de hidrogênio (Airbus, 2025).

Figura 2 - Aeronave ZEROe da Airbus



Fonte: Airbus, 2025.

A aeronave ZEROe contará com um sistema de propulsão a hélice elétrica alimentado por células de combustível de hidrogênio, que transformam o hidrogênio em eletricidade por meio de uma reação química. O único subproduto dessa reação será água, o que significa que o processo será quase neutro em carbono, desde que o hidrogênio seja produzido com energia renovável. Serão quatro hélices, cada uma alimentada por sua própria pilha de células de combustível (Airbus, 2025).

Embora as células de combustível de hidrogênio não sejam uma tecnologia nova, não há nenhuma disponível comercialmente que seja grande o suficiente para alimentar uma aeronave e, ao mesmo tempo, manter um peso aceitável para o voo. Para acelerar o desenvolvimento de uma célula de combustível que respeitasse os regulamentos de peso e segurança aeroespacial, a Airbus fundou uma *joint venture* com a Elring Klinger em 2020, chamada Aerostack. Em 2023, o demonstrador de

células de combustível concluiu uma campanha de testes bem-sucedida e foi acionado com 1,2 megawatts (Airbus, 2025).

Figura 3 – Nova motorização do ZEROe



Fonte: Airbus, 2025.

O programa *Airbus Hydrogen Hubs at Airports* visa promover a expansão do ecossistema global de hidrogênio para garantir que ele possa suportar voos movidos a hidrogênio. Uma iniciativa colaborativa que reúne companhias aéreas, aeroportos, participantes do setor, fornecedores de energia e especialistas em tecnologia para abordar as principais questões relacionadas à produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio. O programa conta atualmente com mais de 220 aeroportos como parceiros, além de diversos fornecedores de energia e companhias aéreas (Airbus, 2025).

Esta nova edição da Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas apresenta importantes artigos e pesquisas da academia, as organizações, as instituições e o desenvolvimento da aviação, devem permanecer unidos, organizados e transparentes em suas ações. Os trabalhos nesta edição, v.5, n.4 (2025), repercutimos importantes temas que buscam de melhora se novas

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 4, p.1-8, ago/set. 2025.

soluções para as demandas do setor, sem deixar de se preocupar com as questões ambientais, econômicas e sociais.

Comente, avalie e encaminhe sua contribuição para este periódico. Nossa missão é abrir oportunidades para o debate e a inovação em todos os setores e aspectos da aviação civil e das ciências aeronáuticas, para que tenhamos cada vez mais alternativas e soluções viáveis para ampliar a eficiência do setor. Desejamos boas leituras desta e das demais edições, convidando-os a submeter vossos estudos e *paper's*, para a Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas.

¹ Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor e Pesquisador nas Áreas de Gestão Ambiental, Ciências Aeronáuticas, Agronomia, Administração e Engenharia Ambiental. Editor da RBAC&CIA. AEROTD. <https://orcid.org/0000-0002-3762-471X>.
E-mail: jairohenkes333@gmail.com

REFERÊNCIAS

AIRBUS, 2025. Disponível em: <https://www.airbus.com/en/innovation/energy-transition/hydrogen/zeroe-our-hydrogen-powered-aircraft>. Acesso em: 28 set. 2025.

EASA. 2025. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/pt/light/topics/hydrogen-and-its-potential-aviation>

EXAME. (2024). Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2024/08/09/com-hidrogenio-como-combustivel-aeronave-pode-ser-a-primeira-a-dar-volta-ao-mundo-sem-parada.html>. Acesso em: 28 set. 2025.

OLIVIERI, F., (2024). In. Revista Exame. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2024/08/09/com-hidrogenio-como-combustivel-aeronave-pode-ser-a-primeira-a-dar-volta-ao-mundo-sem-parada.html>. Acesso em: 28 set. 2025.