



AERONAVES ELÉTRICAS EM PROJETOS E PERSPECTIVAS – OBSERVAÇÕES SOBRE O ESTADO DA ARTE

Jairo Afonso Henkes¹

Na edição passada abordamos a questão temática dos combustíveis sustentáveis para aviação. Não obstante no mundo inteiro ocorrem apostas em novos sistemas propulsores movidos a baterias. Estes novos sistemas propõe, que a aviação dê um salto na redução das emissões de GEE, na próxima década. Este editorial apresenta um pouco do que se tem desenvolvido na perspectiva da produção de aeronaves com propulsão elétrica, no sentido de introduzir ao debate esta inovação conceitual e funcional, no segmento aeronáutico. Esta nova edição traz artigos que abordam este e outros temas fundamentais para o desenvolvimento sustentável da aviação.

As Inovações em baterias impulsionam aeronaves totalmente elétricas

Os aviões experimentais X, construídos pela NASA e pelas forças armadas americanas, começaram por quebrar a barreira do som em 1947 e, desde então, vêm ultrapassando barreiras invisíveis. O mais recente conhecido como X-57 Maxwell, visa tornar realidade aeronaves comerciais totalmente elétricas para passageiros. Para isso, precisa superar muitos obstáculos tecnológicos — e parte desse trabalho já está dando frutos na indústria, com confiabilidade e potência de bateria sem precedentes.

Patrocinado pelo Projeto de Demonstrações e Capacidades de Voo da NASA, o X-57 é um esforço conjunto entre o Centro de Pesquisa de Voo Armstrong, o Centro de Pesquisa Langley e o Centro de Pesquisa Glenn. Os motores a gasolina serão substituídos por dois motores elétricos de cruzeiro nas pontas das asas,

reduzindo o arrasto causado pelos vórtices de ponta de asa. Distribuídos ao longo da borda de ataque de cada asa, haverá seis motores menores para aumentar o fluxo de ar sobre as asas, incrementando a sustentação durante a decolagem e o pouso. Um dos maiores desafios tem sido fornecer energia suficiente aos motores com segurança. Durante a decolagem, todos esses motores combinados podem consumir mais de 200 quilowatts, é muita energia, e, um único sistema de baterias precisa fornecê-la (NASA, 2019).

Uma empresa especializada em baterias e sistemas de energia confiáveis para aplicações aeroespaciais, além de transporte terrestre, medicina e forças armadas foi contratada pelo programa Small Business Innovation Research (SBIR), ela construiu um pacote de baterias de íon-lítio de 385 kg (850 libras) capaz de realizar a tarefa com segurança. O primeiro pacote foi baseado em um projeto da NASA de anos anteriores e incorporou algumas das inovações da EP Systems, como um método para extrair calor de toda a superfície da célula da bateria, em vez de apenas da parede lateral, além de técnicas avançadas de soldagem e embalagens leves. O conjunto de baterias, na verdade, contém milhares de células de íon-lítio comuns, um pouco maiores que as pilhas AA. As baterias de íon-lítio são as preferidas para voos espaciais porque concentram a maior quantidade de energia na menor massa em comparação com as baterias convencionais, mas apresentam uma desvantagem: podem entrar em curto-circuito e sofrer o que é conhecido como "reação térmica descontrolada", resultando em combustão. O desafio para o conjunto de baterias do X-57 era garantir que, se uma célula pegasse fogo, o incêndio fosse contido e não desencadeasse uma reação em cadeia (NASA, 2019).

Uma das contribuições dos engenheiros foi o fornecimento de "células de disparo" que eles haviam inventado para testar baterias de íon-lítio. Nessas células, o eletrólito entre o ânodo e o cátodo é substituído por um disco de cera que derrete quando aquecido, causando um curto-circuito. É uma maneira mais fácil e segura de induzir a fuga térmica do que sobrecarregar uma bateria, além de produzir resultados mais realistas.

A NASA desenvolveu recentemente uma técnica de revestimento para baterias de íon-lítio que consiste em preencher um bloco de alumínio com orifícios para acomodar as baterias a um milímetro ou menos de distância umas das outras, isolando-as e dissipando o calor de qualquer superaquecimento por todo o bloco.

Essa técnica tem sido usada em baterias da Estação Espacial Internacional, na cápsula espacial Orion e em ferramentas necessárias aos astronautas em atividades extraveiculares (NASA, 2019).

A EP Systems adaptou a técnica e incorporou suas próprias ideias para aprimorar a abordagem da NASA. Os resultados foram inovações tanto na soldagem das células quanto no gerenciamento térmico, melhorando a segurança sem aumentar o peso. O novo projeto foi capaz de impedir a fuga térmica em nível de célula individual, enquanto o projeto anterior visava impedi-la em nível de bateria. A nova abordagem também estabeleceu um novo padrão para a "sobrecarga de embalagem", ou seja, a proporção entre o peso da embalagem e o peso das células. A ESAero, por sua vez, contribuiu com suas ideias para a montagem das baterias em aeronaves, bem como para a conectividade do sistema de ventilação das baterias (NASA, 2019).

A comunidade da aviação está dividida sobre, se as regulamentações da FAA para propulsão elétrica estão muito rigorosas, exigindo baterias que acabam sendo muito pesadas e caras para serem comercialmente viáveis. Não precisa se flexibilizar os padrões de segurança para que o voo seja viável. Pode-se manter esses padrões e ainda ter a densidade de energia e até mesmo a meta de custo que desejamos para que essas tecnologias sejam adotadas. A equipe do X-57 também está ajudando a moldar os requisitos de segurança e testes para aeronaves elétricas e híbridas, compartilhando seu trabalho com os órgãos de padronização do setor (NASA, 2019).

Os motores elétricos são muito mais eficientes do que os motores de combustão interna e exigem muito menos manutenção, substituindo o calor e o atrito elevados das câmaras de combustão e dos pistões por fios enrolados e ímãs. Eles têm uma eficiência de 90% ou mais, o que significa que quase toda a energia é transformada em trabalho útil, enquanto os motores a gasolina têm uma eficiência inferior a 30%.

A Bye Aerospace calcula que o Sun Flyer terá um custo operacional de US\$ 3 por hora. Os motores elétricos também geram menos ruído e não emitem poluentes. Segundo análises as oportunidades mais fáceis para aeronaves totalmente elétricas serão voos curtos entre pequenos aeroportos e veículos de decolagem e pouso vertical para transporte dentro das cidades, ambos seriam muito mais lucrativos

devido aos menores custos de combustível e manutenção das aeronaves elétricas. Embora a tecnologia ainda tenha um longo caminho a percorrer antes de haver voos elétricos de três ou quatro horas em grandes aviões de passageiros, a tecnologia já está em um ponto em que pode ser utilizada em novos conceitos de veículos e novos modelos de negócios na aviação (NASA, 2019).

Avião elétrico chinês com bateria “ultracondensada” inicia testes

A CATL, uma das maiores fabricantes de baterias para carros elétricos do mundo, quer revolucionar o segmento da aviação. Para isso, a empresa chinesa está desenvolvendo um avião zero emissor de poluentes, com autonomia de voo impressionante, graças ao sistema de bateria ultracondensada. Essa bateria inovadora oferece capacidade de até 500 Wh/kg de densidade de energia em uma única célula, o dobro da média dos veículos elétricos. Segundo a CATL, com essa tecnologia, a empresa está "abrindo um novo cenário de eletrificação de aeronaves de passageiros".

A ideia da fabricante é que o avião elétrico seja lançado no mercado entre 2027 e 2028 e, graças às baterias ultracondensadas, consiga realizar viagens “limpas” de até 3 mil milhas (cerca de 4,8 mil quilômetros). Essa distância pode fazer o avião ligar Paris, na França, a Moscou, na Rússia, sem necessidade de recarga.



Fonte: CATL, 2024.

Avião elétrico pode ser a saída para reduzir as emissões da aviação

Baterias ultracondensadas podem equipar jatos. A CATL, ao mesmo tempo em que trabalha para colocar o avião elétrico chinês em uso nos próximos anos, a empresa também está desenvolvendo o sistema de baterias ultracondensadas para aeronaves menores. A idéia é usar a tecnologia em jatos executivos e aviões comerciais já em 2025, desde que os testes com a aeronave de oito toneladas obtenham os resultados esperados pela CATL.

A startup holandesa de aviação Elysian está reimaginando tudo que o setor pensava ser possível com aeronaves elétricas. Quando um avião de passageiros totalmente elétrico, fez um voo de teste em 2022, não tinha muito espaço a bordo – o projeto, de uma startup chamada Evation, comporta apenas nove passageiros. Outros aviões elétricos a bateria que estão sendo desenvolvidos também são relativamente pequenos, e estudos sugerem que os aviões totalmente elétricos só poderiam transportar até 19 pessoas. No entanto, a Elysian está trabalhando em um avião de 90 assentos que será capaz de viajar quase 800 quilômetros com uma única recarga. O pensamento convencional sobre aviões elétricos movidos a bateria é que eles não podem ser grandes nem percorrer distâncias muito longas por causa do peso das baterias (Peters, 2025).

Este cálculo pode mudar se o projeto for repensado em vez de se tentar adaptar um avião moderno básico. Um dos cofundadores da Elysian, o engenheiro aeroespacial Rob Wolleswinkel, buscou inspiração em projetos de aviões mais antigos e começou a trabalhar com pesquisadores da Universidade de Tecnologia de Delft para calcular o potencial de uma nova concepção de aviões elétricos. O projeto conceitual da startup é inspirado em aviões maiores e mais antigos, projetados para percorrer distâncias muito longas e transportar muito combustível. O projeto da nova aeronave tem asas largas e um corpo menor do que o de um avião comum, o que ajuda a melhorar a aerodinâmica (Peters, 2025).

As baterias são colocadas nas asas, aproveitando o espaço extra e tornando o corpo do avião mais leve. Ter as baterias pesadas nas asas "é muito benéfico do

ponto de vista estrutural", explica de Vries. O peso é distribuído uniformemente pelas asas, em vez de sobrecarregar a fuselagem. Um sistema de reserva de gás pode ser usado se um voo atrasar ou for desviado inesperadamente. Mas em um voo padrão, com baterias que têm uma densidade de energia de 360 watts-hora por quilograma, o avião pode percorrer 800 quilômetros somente com as baterias.

A equipe agora está trabalhando em uma lista de desafios técnicos, desde o desenvolvimento dessa bateria até a forma como a energia seria transportada pelo avião. Eles planejam ter um projeto atualizado até o final do ano e, em seguida, mergulhar em um desenvolvimento mais detalhado. Se tudo correr como planejado, os primeiros voos poderão ser realizados em 2033. Aviões elétricos desse porte poderiam substituir um grande número de voos. "Cerca de metade dos voos em todo o mundo tem menos de mil quilômetros", diz Daniel Jacobson, co-CEO e diretor de negócios da Elysian. "Isso representa cerca de um quinto de todas as emissões de CO2 na aviação. Com uma aeronave como essa, que não tem emissões, é possível resolver uma parte significativa do problema total" (Peters, 2025).

As companhias aéreas estão acelerando seus planos de transição para combustível de aviação sustentável (SAF, na sigla em inglês), embora algumas formas de combustível possam não ser muito sustentáveis. Também não há suprimento suficiente de SAF, portanto, se mais voos puderem ser elétricos, isso ajudará. Para cada milha percorrida por passageiro, o avião elétrico também seria cinco vezes mais eficiente do que um movido à combustível de aviação sustentável.

O SAF também é mais caro do que o combustível de aviação padrão. Como governos como o da União Europeia exigem que as companhias aéreas comecem a usá-lo mais, os aviões elétricos poderiam começar a competir em termos de custo. O novo avião da Elysian foi projetado para competir com outros aviões que viajam cerca de 500 milhas, como a série Boeing 737 MAX ou o Airbus A320. Se o custo do combustível aumentar o suficiente, isso vai ser possível. A Elysian acredita poder entregar um avião até 2033 que consiga competir em termos de custos para ser realmente uma boa decisão econômica para as companhias aéreas, e não apenas uma decisão sustentável (Peters, 2025).

Japão avança em nova bateria ultraleve que pode revolucionar eVTOLs e aeronaves elétricas

O Japão deu um passo significativo rumo à próxima geração de baterias ultraleves para aviação elétrica e veículos de longo alcance. Pesquisadores do National Institute for Materials Science (NIMS) e da empresa Toyo Tanso anunciaram o desenvolvimento de um novo tipo de eletrodo de carbono capaz de elevar o desempenho das baterias lítio-ar, permitindo maior potência, durabilidade e, sobretudo, a escalabilidade necessária para aplicação real em aeronaves elétricas e eVTOLs (Cavok, 2025).

A tecnologia, testada em laboratório, resultou em uma célula empilhada com capacidade próxima a 1 Wh, construída com eletrodos de 4 cm x 4 cm, algo muito maior que os formatos tradicionais usados em protótipos anteriores. O avanço coloca o Japão à frente da corrida global por baterias capazes de oferecer densidades energéticas muito superiores às atuais lítio-íon, um requisito crítico para aviação elétrica de alta autonomia (Cavok, 2025).



Fonte: Cavok, 2025.

A bateria lítio-ar sempre foi tratada como o “graal” do armazenamento de energia, pois utiliza oxigênio externo ao invés de armazená-lo internamente. Isso reduz peso e abre possibilidade para densidades energéticas que podem ultrapassar 500 Wh/kg, mais do que o dobro das baterias usadas em carros elétricos atuais. O

problema é que, até agora, essas células falhavam ao serem escalonadas: perdiam potência, ciclavam pouco e deterioravam com rapidez.

O novo eletrodo emprega uma arquitetura porosa sofisticada, permitindo fluxo eficiente de oxigênio e íons de lítio sem obstrução, algo essencial para evitar a formação excessiva de peróxidos e a degradação interna que limitava os protótipos anteriores. Testes independentes mostraram a possibilidade de fabricar eletrodos maiores, chegando a 10 cm x 10 cm, algo próximo de uma escala industrial inicial. Para a aviação elétrica, isso significa avanço real, não apenas promessa teórica (Cavok, 2025).



Fonte: Cavok, 2025.

ISSN 2763-7697

O impacto dessa tecnologia vai além dos eVTOLs. Se baterias lítio-ar atingirem maturidade, podem aproximar o armazenamento elétrico do desempenho energético por quilo equivalente ao combustível de aviação. Isso abriria caminho para aeronaves elétricas de maior alcance, voos regionais totalmente limpos e uma geração de carros elétricos capazes de rodar centenas de quilômetros a mais por carga. Ainda existem desafios — estabilidade do ânodo metálico, interação do eletrólito com o ar real e segurança operacional em grandes packs — mas a barreira histórica da escalabilidade foi superada pela primeira vez com resultados consistentes (Cavok, 2025).

O Japão não está sozinho nessa corrida. Pesquisas paralelas em baterias lítio-enxofre, estado sólido e combinações híbridas também avançam em laboratórios nos EUA, Europa e Austrália, todas mirando o mesmo objetivo: tornar o

voos elétricos práticos, leves e eficientes. Mesmo assim, entre as tecnologias emergentes, a lítio-ar ainda é a que promete a maior densidade de energia teórica, e o anúncio japonês a coloca mais perto do mercado do que nunca. Se mantiver o ritmo de evolução, a bateria lítio-ar poderá alimentar aeronaves elétricas, eVTOLs, drones de longo alcance e carros com autonomia inédita (Cavok, 2025). Com estes registros lançamos ao debate acadêmico e científico a temática: Aeronaves elétricas—conceitos e desafios.

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. AEROTD. <https://orcid.org/0000-0002-3762-471X>.
E-mail: jairohenkes333@gmail.com

REFERÊNCIAS

CANALTECH. **Avião elétrico chinês com bateria ultracondensada inicia testes**. 2024. Disponível em: <https://canaltech.com.br/avioes/aviao-eletrico-chines-com-bateria-ultracondensada-inicia-testes-294787/>. Acesso em: 16 fev. 2026.

CAVOK. **Japão avança em nova bateria ultraleve que pode revolucionar eVTOLs e aeronaves elétricas**. 2-25. Disponível em: <https://www.cavok.com.br/japao-avanca-em-nova-bateria-ultraleve-que-pode-revolucionar-evtols-e-aeronaves-eletricas>. Acesso em: 16 fev. 2026.

NASA. **Inovações em baterias impulsionam aeronaves totalmente elétricas**. 2019. Disponível em: https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/t_1.html. Acesso em: 16 fev. 2026.

PETERS, A. **Avião elétrico pode ser a saída para reduzir as emissões na aviação**. 2024. Disponível em: <https://fastcompanybrasil.com/impacto/aviao-eletrico-pode-ser-a-saida-para-reduzir-as-emissoes-da-aviacao/>. Acesso em: 16 fev. 2026.