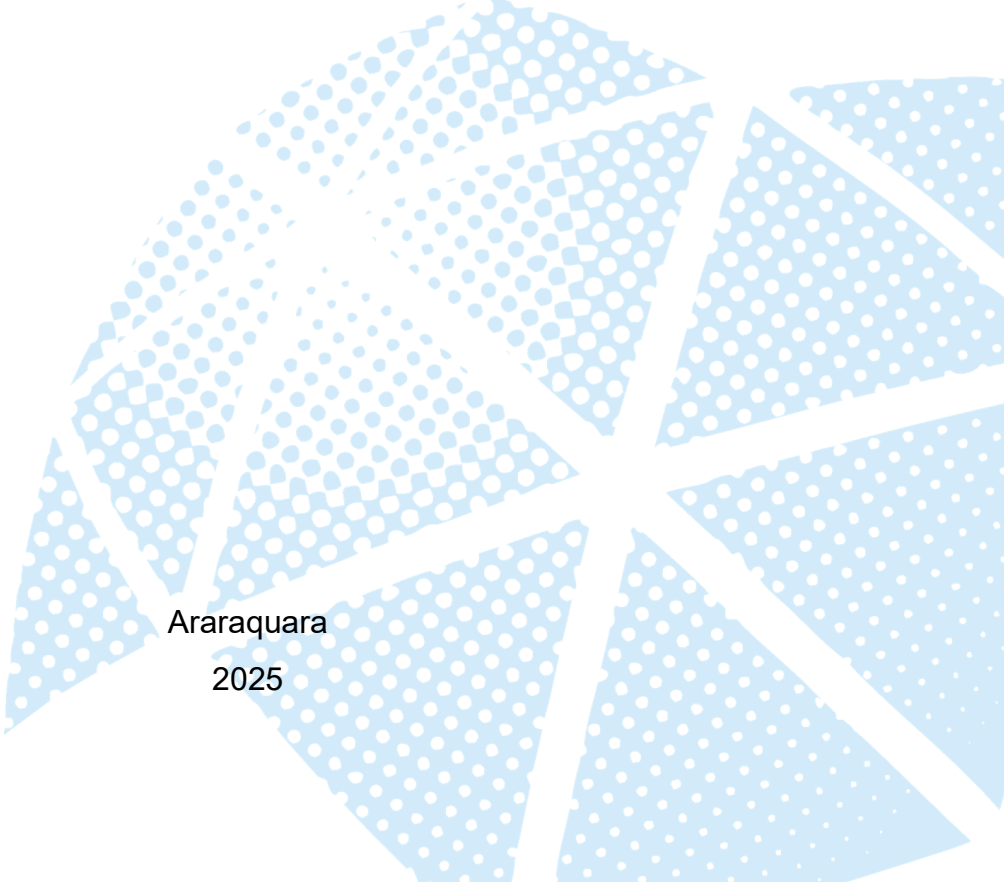


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Ciências e Letras - Campus de Araraquara

MARCOS MAGALHÃES BALBÃO FILIPPI

CARROS VOADORES: O NOVO MERCADO DA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Araraquara
2025



MARCOS MAGALHÃES BALBÃO FILIPPI

CARROS VOADORES: O NOVO MERCADO DA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências
e Letras, Araraquara, para obtenção do
título de Bacharel em Ciências
Econômicas

Orientador(a): Prof. Dr. Celso Pereira
Neris Junior

Araraquara
2025

F483c Filippi, Marcos
Carros Voadores: O Novo Mercado da Indústria
Aeronáutica / Marcos Filippi. -- Araraquara, 2025
50 p.
Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado -
Ciências Econômicas) - Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras,
Araraquara
Orientadora: Celso Neris Junior
1. novo mercado. 2. carro voador. 3. eVTOL. 4.
inovação. 5. indústria aeronáutica. I. Título.

MARCOS MAGALHÃES BALBÃO FILIPPI

CARROS VOADORES: O NOVO MERCADO DA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Araraquara, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas

Data da defesa: __03__ / __12__ / ____2025____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Celso Pereira Neris Junior
UNESP – Faculdade de Ciências e Letras - Campus de Araraquara

Prof. Dr. Marcos José Barbieri Ferreira
UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

O mercado de carros voadores representa uma nova segmentação na indústria aeronáutica, marcada por desafios e inovações. Fabricantes e investidores já se movimentam para explorar esse potencial, que promete crescimento exponencial nos próximos anos. Trata-se de um setor que não apenas revoluciona a aviação, mas também impacta profundamente a infraestrutura urbana, a matriz energética e os serviços de transporte, configurando-se como um dos pilares da mobilidade futura. O caráter inovador dos veículos elétricos de decolagem e pouso vertical - eVTOL - decorre principalmente dos progressos nos sistemas de armazenamento de energia e na eficiência de fontes renováveis. A utilização de materiais leves e resistentes, como a fibra de carbono já presente em drones, contribui para maior desempenho e redução de custos operacionais. Paralelamente, a chamada Indústria 4.0 intensifica a conectividade inteligente, integrando inteligência artificial e softwares robustos, que permitem maior automação e segurança nos processos. Assim, este novo produto combina um transporte mais eficiente, sustentável e seguro, a melhora na mobilidade urbana, integrando vias terrestres e aéreas.

Palavras-chave: novo mercado; carro voador; eVTOL; inovação; indústria aeronáutica

ABSTRACT

The flying car market represents a new segmentation in the aeronautical industry, marked by challenges and innovations. Manufacturers and investors are already moving to explore this potential, which promises exponential growth in the coming years. This is a sector that not only revolutionizes aviation, but also has a profound impact on urban infrastructure, the energy matrix and transport services, becoming one of the pillars of future mobility. The innovative nature of electric vertical take-off and landing vehicles - eVTOL - arises mainly from progress in energy storage systems and the efficiency of renewable sources. The use of light and resistant materials, such as carbon fiber already present in drones, contributes to greater performance and reduced operating costs. At the same time, the so-called Industry 4.0 intensifies intelligent connectivity, integrating artificial intelligence and robust software, which allows greater automation and security in processes. Thus, this new product combines a more efficient, sustainable and safe transport, towards advanced urban air mobility, integrating land and air routes.

Keywords: new market; flying car; eVTOL; Innovation. Aeronautical Industry.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 SURGE UM NOVO SEGMENTO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA	9
3 OS CARROS VOADORES	14
4 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO	25
4.1 DESAFIOS	26
4.1.1 Baterias	28
4.1.2 Infraestrutura	31
4.1.3 Regulamentações.....	34
4.1.4 Condições Climáticas	36
4.1.5 Segurança	36
4.1.6 Aceitação do Público	38
4.2 PERSPECTIVAS PARA O FUTURO	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo analisar o surgimento de um novo segmento da indústria aeronáutica, fruto dos recentes avanços e inovações tecnológicas e da indústria 4.0. Resultando nos carros voadores, definidos por veículos inteligentes com operações ideais em baixas altitudes, transformando a mobilidade urbana de um formato 2D para 3D. São principalmente os Veículos de Pouso e Decolagem Vertical elétricos (eVTOL - electric Vertical Tak-Off and Landing).

A crescente demanda por soluções inovadoras de mobilidade urbana, aliada aos avanços da Indústria 4.0, coloca os carros voadores no centro das discussões sobre o futuro do transporte. Esses veículos representam uma potencial revolução no deslocamento urbano, ao prometerem redução de congestionamentos, maior eficiência energética, redução da emissão de CO₂ em suas operações, menor ruído sonoro e minimizar perturbações em áreas de habitação. Alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Assim será levantada uma abordagem sistêmica para entender o que caracteriza uma nova configuração do mercado, e quais os impactos da tecnologia e das inovações sobre a mesma. Buscando analisar, do ponto de vista econômico, se há a criação de um novo segmento da indústria aeronáutica. Para isto será realizada uma revisão da literatura acadêmica, a partir das teorias de Schumpeter (1942), e Perez (2010), sobre inovação, destruição criadora, e disruptura de mercados.

Para investigar o caráter técnico e os desafios das novas tecnologias, sua viabilidade e aplicabilidade no cenário atual, serão consultados, também, estudos e artigos científicos disponíveis em portais oficiais especializados no tema. Como periódicos científicos, conteúdos disponibilizados em fóruns e anais de congressos, relatórios técnicos, publicações em revistas renomadas, e sites dos órgãos reguladores e das empresas líderes no setor.

A metodologia adotada segue os princípios da pesquisa qualitativa, priorizando a análise interpretativa e descritiva das informações obtidas. Dessa forma, busca-se oferecer uma compreensão ampla e detalhada sobre o novo segmento dos carros voadores, considerando aspectos técnicos, históricos, econômicos, sociais e ambientais relacionados à criação deste mercado e sua inserção no ecossistema da mobilidade urbana.

Este trabalho está dividido em três capítulos, o primeiro apresenta um panorama histórico da indústria aeronáutica, abordando os avanços tecnológicos da mesma ao longo de sua trajetória. Também busca entender o que caracteriza uma nova segmentação de mercado, trazendo uma revisão da literatura sobre o papel das inovações tecnológicas no dinamismo econômico.

O segundo capítulo analisa a conformação deste novo mercado, como está avançando no contexto atual, introduzindo o conceito dos carros voadores, suas características e as empresas participantes desta corrida tecnológica, bem como as características de seus modelos. Os principais *milestones* alcançados e perspectivas para o futuro.

Por fim, o capítulo três reflete sobre a proposta dos carros voadores para a mobilidade aérea urbana, trazendo à tona os principais desafios deste segmento em ascensão, abordando a questão da tecnologia e seus avanços significativos, bem como baterias mais eficientes, a Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) e o uso da Inteligência Artificial em modelos não tripulados; a infraestrutura, específica para o novo modal, junto com o desenvolvimento de todo ecossistema necessário para proporcionar operações seguras, dinâmicas e conectadas, visando uma transição suave; as regulamentações e certificações necessárias para adentrar o mercado; as barreiras climáticas; e a aceitação do público.

Este estudo justifica-se pela relevância do tema no contexto contemporâneo, em que inovações tecnológicas e o rápido avanço da Indústria 4.0 são cada vez mais importantes e necessários para enfrentar problemas como mobilidade insustentável, emissões de carbono e limitações do transporte urbano tradicional. Ao combinar uma análise detalhada das empresas, marcos alcançados e barreiras do setor, o trabalho pretende esclarecer como se deu a ascensão deste novo mercado. Oferecer contribuições relevantes para o debate acadêmico, tecnológico e mercadológico, incentivando o desenvolvimento de soluções mais integradas, sustentáveis e inovadoras para o transporte urbano global.

2 SURGE UM NOVO SEGMENTO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Desde a pré-história, o homem tenta replicar o voo dos pássaros, em que, de início, atrelou as asas ao corpo e pularam de alturas consideráveis, mas sem sucesso e sem entender o porquê. Até que, em 1655, Robert Hook define a estrutura biológica humana como incapaz de viabilizar uma planagem com membros alados falsos, alegando que seria necessária alguma força de propulsão artificial (Agência Nacional da Aviação Civil, 2023b).

Em 1783, Joseph e Etienne Montgolfier erguem o primeiro balão de ar quente tripulado e, menos de duas semanas depois, Jacques Charles inaugura o primeiro balão à gás. No entanto, estes modelos apresentavam locomoção limitada. No início do século seguinte, inspirado nas pipas utilizadas há mais de 2000 anos pelos chineses, Sir George Cayley apresentou e testou um aeromodelo pioneiro e bem-sucedido (Agência Nacional da Aviação Civil, 2023b).

Seu trabalho incentivou cientistas a pesquisarem e desenvolverem motores para a aviação. Assim, Otto Lilienthal provou a praticidade de voo em veículo mais denso que o ar; e William Samuel Henson engendrou um monomotor movido a vapor (Agência Nacional da Aviação Civil, 2023b).

Então, em 23/10/1906, o brasileiro Alberto Santos Dumont ergueu o primeiro voo sem propulsão em uma aeronave, o 14-Bis, mais pesada que o ar. Se estabelecendo como o “Pais da Aviação”. Contudo, há um debate se tal pioneirismo pertenceria, na verdade, aos Irmãos Wright, por realizarem a mesma façanha em 17 de dezembro de 1903. Entretanto, os primeiros registros foram apresentados somente anos depois, em 1908, levando a questionamentos quanto à autenticidade dos mesmos (Agência Nacional da Aviação Civil, 2023b).

Segundo a revista digital Weiss e Amir (2025), os Wright levam o título de primeiro voo motorizado e controlado, no qual a tração das asas possibilitou as mudanças de altitude e sentido do deslocamento. Em 1909, surge a primeira linha de montagem de aeronaves, devido à encomenda de 6 unidades do modelo dos irmãos. No mesmo ano, é concretizada uma versão militar. Até então, as matérias-primas utilizadas eram pouco resistentes, sendo principalmente madeira e tecidos.

Com a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), os aviões são despachados para operações de inteligência, combate aéreo e descarga de bombas. Assim, desenvolveram-se estruturas mais robustas e monomotores mais potentes. Já no

período entre-guerras, a aviação comercial ganha notoriedade, buscando maior capacidade e alcance. Para isto, são introduzidos materiais estruturais mais leves, como o alumínio, revolucionando a maneira de fazer fuselagens. Abrindo caminho para o surgimento do Junkers J-1. O modelo também se livra da necessidade de estruturas de suporte, devido à redução do peso (Weiss; Amir, 2025).

Em 1929 é fundada a United Aircraft Air Transport Corporation nos Estados Unidos da América (EUA), sob a liderança da Boeing. Em 1933, o advento do bimotor e da asa rebaixada, combinado à incorporação de estruturas metálicas, dá origem ao Modelo 247 da Boeing e nasce a aviação moderna. No entanto, foi vendido estritamente à matriz corporativa, o que pressionou seus concorrentes a se modernizarem. Consequentemente, dois anos depois, a Douglas Company (DC) introduz o DC-3, que tomou a produção e demanda globais, popularizando este modelo de aviação comercial (Weiss; Amir, 2025).

Assim, em 1935, com a introdução do DC-3, as companhias aéreas passaram a ser lucrativas pela primeira vez. A aeronave passou a integrar quase todas as empresas prestadoras de serviços da aviação nos EUA e se tornou referência mundial (Weiss; Amir, 2025).

Ainda na década de 1930, surgem os hidroaviões, porém, ao final da década seguinte, se tornam obsoletos, devido à tecnologia de cabines pressurizadas e composição de 4 motores dos novos aviões comerciais (Weiss; Amir, 2025).

Em 1936, surge o primeiro helicóptero e em 1937, na Grã-Bretanha, nascem os primeiros motores turbojato. Em 1944, a indústria passa por uma revolução em seu aparato produtivo, deixando a manufatura artesã e substituindo-a pelo manejo de linhas de produção, visando escalar a capacidade para atender à demanda crescente por aeronaves (Weiss; Amir, 2025).

Com a derrota na Primeira Guerra Mundial, o Tratado de Versalhes impôs diversas limitações à indústria aeronáutica alemã. Tais medidas foram suavizadas em 1921 e o país começa a desenvolver aeronaves leves, e em 1926, com o fim das medidas restritivas, surgem diversas companhias (Weiss; Amir, 2025).

Com a ascensão de Hitler, os investimentos neste setor dispararam, aumentando mais de 1000% entre 1931 e 1936, posicionando a Alemanha como nação mais avançada na aeronáutica. O maior importador da Alemanha era o Japão, que ainda apresentava uma indústria aeronáutica iniciante, no entanto, a introdução

do Mitsubishi A6M Reisen Fighter vira o jogo, ao exibir sua potência superior aos modelos norte-americanos (Weiss; Amir, 2025).

Preocupados com o crescimento alemão, em 1938, França e Inglaterra, além de encomendar suas aeronaves nacionais, passam a importar massivamente dos Estados Unidos, acelerando sua indústria. Quando este último entra na guerra, em 1941, Franklin Roosevelt encomenda 20.000 aeronaves militares para o ano seguinte, dobrando a produção ano após ano (Weiss; Amir, 2025).

Assim, a produção de aviões salta de 6.000 ao ano para 22.000 em 1942 e 96.000 em 1944. Durante a Segunda Guerra, houve uma mudança de escopo na produção de aviões, passando de civis para militares. Os EUA produziram sozinhos 300.317 aeronaves, contando com 23 modelos de aeronaves de combate, incluindo o C-47, uma versão militarizada do DC-3. Para atingir este marco, muitas empresas da automobilística se adaptaram à produção de aeronaves ou partes de aeronaves (Weiss; Amir, 2025).

Na década de 1960, o Boeing 707 domina a aviação comercial com seus motores a jato e torna obsoletos os movidos a pistão (Weiss; Amir, 2025).

Assim, observa-se o impacto das revoluções tecnológicas na evolução e no dinamismo econômicos, que, segundo Schumpeter (1942), não se dá intrinsecamente pelo aumento da produção ou da população, mas através das inovações, seja nos bens de consumo, nos métodos de produção, na organização industrial e, até mesmo, na criação de novos mercados.

Logo, a história dos meios de transporte aéreo, desde os primeiros balões até os maiores e mais modernos aviões, é marcada por revoluções tecnológicas, instaurando mutações endógenas no sistema econômico capitalista. Sendo assim denominada a “Destruição Criadora”, mecanismo pelo qual se dão as alterações nas indústrias e seus setores conectados. E as empresas que não se adaptarem a essas mudanças acabam ficando para trás e correm o risco de fecharem suas portas (Schumpeter, 1942).

Portanto, por mais que a concorrência por melhores preços e qualidade sempre estivesse presente na ambição das firmas, Schumpeter (1942) defende a capacidade de inovar como real maneira de se destacar no sistema capitalista, adquirindo lucro superior (até a difusão da novidade no mercado), seja através de novas técnicas, matérias-primas, produtos ou organização corporativa. Tais inovações

viabilizam, no longo prazo, o crescimento da escala de produção, a otimização dos custos e, por consequência, a elevação do lucro.

Seguindo esta linha de raciocínio, Carlota Perez (2010) afirma que uma tecnologia inovadora isolada tem potencial de se expandir e difundir no mercado, como um Big Bang, gerando uma revolução tecnológica, onde observam-se avanços disruptivos interrelacionados, capazes de implementar melhorias não só no seu setor, mas também nos adjacentes.

Contudo, para uma inovação tecnológica se configurar como revolução, ela deve apresentar conexão e interdependência entre suas próprias características. Além de ser capaz de integrar a estrutura vigente e seu ecossistema, causando disrupções no mesmo, e impactar significativamente o sistema socioeconômico (Perez, 2010).

A partir disto, os autores Ferreira e Neris Junior (2020), defendem a conformação de um novo mercado no segmento de aeronaves leves dentro da indústria aeronáutica. Uma vez que as mesmas se inserem em um setor mais difundido do ecossistema, por manifestar menor grau tecnológico e relevância global. Além de investimentos iniciais relativamente mais baixos dentro da indústria na qual se encaixa, viabilizando não só a ramificação de empresas já existentes, como também o surgimento de novos concorrentes na forma de startups.

A tendência deste setor é a criação de um novo modelo de negócio, apostando na evolução tecnológica das baterias elétricas, em seu armazenamento de energia e eficiência energética, para torná-las realidade na confecção de aeronaves, sem comprometer suas seguranças nas operações. Resultando na parceria entre consolidadas formas da aviação e automobilística com fornecedores de motores elétricos (Ferreira e Neris Junior, 2020).

Os pesquisadores também trazem os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) voltados a uso militar como uma grande alteração de mercado, abordando o caráter disruptivo de suas inovações nos ramos da Inteligência Artificial (IA), das tecnologias de rede, e da Internet das Coisas (IoF - Internet of Things). Tais disrupturas facultam aeronaves pilotadas remotamente, ou até mesmo autônomas (Ferreira e Neris Junior, 2020).

A evolução no mundo digital trouxe consigo hardwares mais robustos e softwares mais complexos, possibilitando maior capacidade de armazenamento e

análise de dados, fatores essenciais para o avanço da Inteligência Artificial e sua difusão na indústria aeronáutica, incorporando àquela novas funções, como comando por voz, navegação autônoma, e simulação de operações (Ferreira e Neris Junior, 2020).

A evolução da IoT resultou na integração com a IA, onde, nas aeronaves, a primeira permite o recebimento de grande volume de informações por sensores modernos, as quais são processadas e transmitidas aos atuadores. Sendo, por fim, a segunda, responsável por analisar os dados e fornecer um diagnóstico. Tudo isso em questão de segundos, providenciando o monitoramento simultâneo das operações (Ferreira e Neris Junior, 2020).

A estrutura de comunicação por dados em tempo real existente atualmente se dá a partir da evolução de novas tecnologias de rede, muito utilizadas na aviação, integrando toda cadeia de suprimentos. Além de viabilizar o monitoramento e controle das operações em tempo real. Se configurando como componente fundamental para os carros voadores, trazendo mais eficiência e segurança para os voos (Ferreira e Neris Junior, 2020).

Outra conquista relevante para os carros voadores está nos materiais avançados, com pesos cada vez mais reduzidos, maior eficiência, menor dissipação de energia, e maior resistência, que podem ser aplicados às estruturas das aeronaves, baterias e motores elétricos, e sistemas adjacentes; de acordo com suas características técnicas. Dentre eles, se destacam a liga de alta entropia (HEA), nanotubos de carbono reforçando ligas metálicas leves, e ímãs de elevada capacidade a partir de metais de “terras raras” (Ferreira e Neris Junior, 2020).

Consequentemente, segundo os acadêmicos, tais avanços formariam um novo e dinâmico mercado a ser explorado pelos setores aeronáuticos e automobilistas, bem como seus adjacentes, integrando aeronaves leves à mobilidade aérea urbana compartilhada. Os veículos contarão com uma matriz energética eletrizada, rede de comunicação conectada e segura e sensores ultramodernos para evitar colisões e permitir o tráfego suave. Ademais, alguns modelos mais evoluídos poderão ser pilotados de maneira 100% autônoma, através de IA (Ferreira e Neris Junior, 2020).

Este inovador produto adentrando o mercado aeronáutico, vem popularmente sendo chamado de carro voador, sendo majoritariamente representado

pelos eVTOL (electric Vertical Take-Off and Landing), veículos de decolagem e pouso vertical, que contam com multirotores de propulsão elétrica. Além de sua tecnologia disruptiva, as aeronaves se consolidam como um novo segmento industrial devido ao caráter inicial de desenvolvimento da infraestrutura necessária para sua operacionalização (Ferreira e Neris Junior, 2020).

3 OS CARROS VOADORES

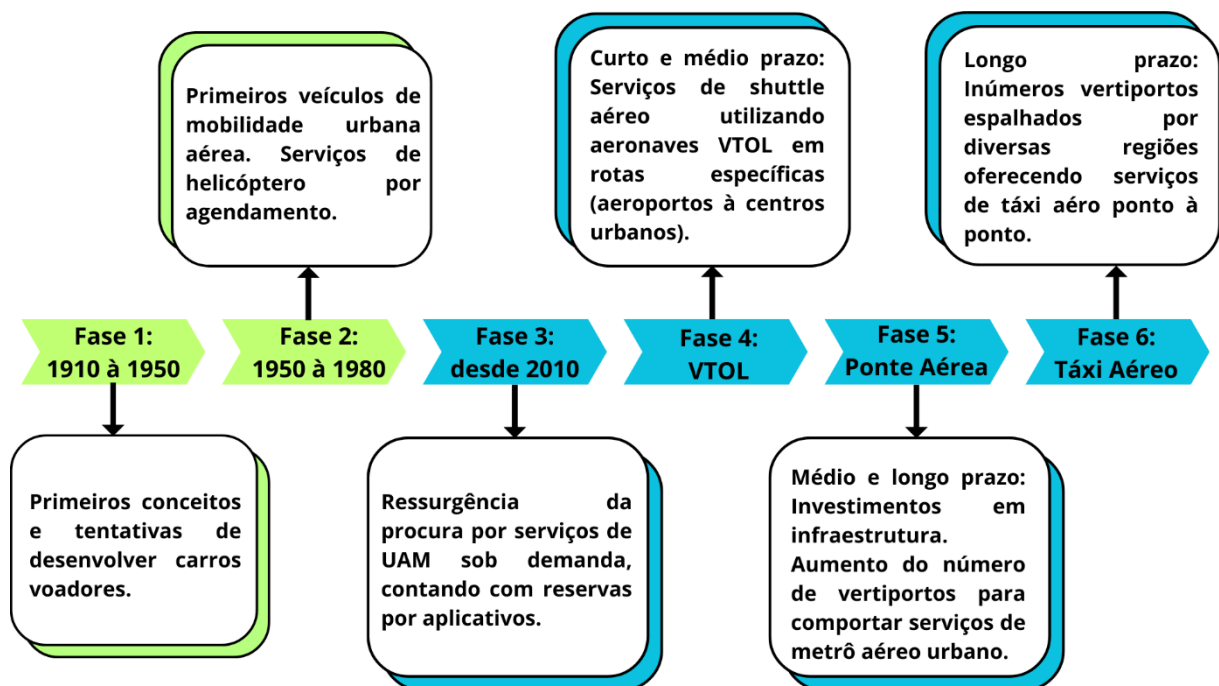
Os carros voadores sempre viveram na imaginação, presentes em filmes e desenhos que se passavam e interpretavam uma visão de como seria a vida no futuro. No entanto, segundo a reportagem de Alexandre Saconi, “Carros voadores devem chegar em 10 anos e são parecidos com os dos Jetsons” (2021), isto está prestes a se tornar realidade, com o desenvolvimento dos chamados eVTOL (*electric Vertical and Take Off Landing*), muito similares aos helicópteros modernos, mas com design e conceitos inovadores, movidos 100% por baterias elétricas.

Durante o século 20, esta ideia começou a sair do mundo imaginário para o real, quando houveram diversas tentativas de desenvolver um protótipo de carro voador para uma pessoa, no entanto, nenhuma obteve sucesso. Dentre os pioneiros, estava Henry Ford, porém devido a um acidente fatal envolvendo seu piloto de testes, sua pesquisa foi descontinuada. Em 1937, Waldo Waterman inventou o Arrowbile, misturando os conceitos de carro e avião, contudo não conseguiu financiamento para ir adiante. Já nos anos de 1940, é aprovado o primeiro “carro voador” pela Administração de Aeronáutica Civil, o Airphibian, mas também sofreu com a falta de financiamento e investidores. Posteriormente, Moulton Taylor criou o Aerocar, contudo, não teve sucesso comercial. Outras tentativas, como ConvAirCar e Levacar Mach I, terminaram após problemas técnicos ou acidentes (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Nas décadas de 1960 e 1970, inventores como Paul Moller e empresas como a Advanced Vehicle Engineers continuaram desenvolvendo protótipos de VTOL (veículos de decolagem e aterrissagem vertical), mas enfrentaram obstáculos semelhantes. Na década de 1980, Boeing investiu no Sky Commuter, mas também abandonou o projeto. Muitos desses conceitos enfrentavam dificuldades devido ao conflito entre as necessidades de design de um carro e um avião, além de questões de segurança e regulamentação (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Este novo mercado está organizado em seis grandes fases (Figura 1), das quais a primeira se refere à introdução ao conceito de carros voadores e os primeiros protótipos, discutidos acima. A segunda diz respeito aos helicópteros, os primeiros veículos de mobilidade urbana aérea. No entanto, os mesmos enfrentaram dificuldades de aceitação comercial, devido aos elevados custos de combustível, se restringindo principalmente a serviços militares, como missões de resgate. (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Figura 1 – As 6 grandes fases do desenvolvimento de carros voadores



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados apresentados por Cohen, Shaheen, Farrar (2021).

Durante a fase três, observou-se a reemergência desses serviços sob demanda. Um exemplo importante é o uso de drones pequenos, sUAS, para entrega de mercadorias, uma tendência que se popularizou na década de 2010. Hoje, esses drones são amplamente utilizados em setores como o de bens de consumo, transporte de amostras médicas, e suprimentos de emergência. Empresas como Zipline, Matternet e DHL têm implementado serviços de entrega de sangue, vacinas e medicamentos em locais como Ruanda, Gana, Suíça e Tanzânia. Nos Estados Unidos, o programa FAA's *UAS Integration Pilot Program* incentiva a integração segura dos drones, apoiando operações que incluem entrega de pacotes, voo além da linha de visão do piloto, e tecnologias de detecção e (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Já a demanda por transporte de passageiros surge na década de 2010, quando empresas de transporte por aplicativo como BLADE, Uber Copter e Voom passam a oferecer viagens de helicóptero. Esses serviços se expandiram para cidades como Nova York, São Francisco, e até São Paulo, mas enfrentaram desafios durante a pandemia de COVID-19. A BLADE, por exemplo, lançou serviços similares em Mumbai e está adquirindo aeronaves VTOL (Vertical Take-Off and Landing) para futuras operações. (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Na quarta fase, espera-se a implementação e início das operações dos VTOL dentro dos serviços de "shuttle aéreo", devem seguir rotas específicas entre aeroportos e centros urbanos, com previsão de lançamento para o final da década de 2020, contando com a participação de empresas como Volocopter, EHang, Vertical Aerospace e Lilium. No entanto, a disponibilidade de aeronaves certificadas e o impacto da pandemia podem alterar os cronogramas de lançamento (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

A pandemia também alterou o curso do ecossistema de Mobilidade Aérea Avançada (AAM), acelerando a transição de aeronaves tripuladas para eVTOLs, veículos elétricos de decolagem e aterrissagem vertical, especialmente em um contexto de recessão econômica. (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Para a fase cinco, a expectativa do setor é a expansão desses serviços, com a introdução do "hub e spoke" ou "metrô aéreo". Nesta fase, onde é esperado maior volume das operações, será necessário grande investimento em infraestrutura, com a construção de vertiportos em áreas residenciais e vertihubs em zonas comerciais. Assim, a redução de custos e o aumento da adoção social são fundamentais, com potencial para múltiplos voos diários em trajetos regulares. Para enfrentar desafios operacionais, como a necessidade de reposicionar aeronaves sem passageiros, melhorias tecnológicas, como algoritmos de precificação dinâmica e baterias mais eficientes, serão essenciais (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

A última fase, de número seis, representa o auge das operações da Mobilidade Aérea Urbana (UAM), com a introdução de serviços de táxi aéreo ponto-a-ponto que oferecem deslocamento sob demanda entre locais específicos. No entanto, o alcance completo desse modelo enfrenta desafios significativos, como limitações de infraestrutura, condições climáticas, e questões de segurança e privacidade. Esses fatores podem impedir que o verdadeiro serviço ponto-a-ponto seja

viável, embora a evolução tecnológica e a aceitação pública possam ajudar a superar alguns desses obstáculos (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Assim, enquanto os primeiros conceitos de carros voadores das décadas de 1910 a 1950 buscavam desenvolver um carro com estrutura similar à existente na época, mas capaz de voar. Já os modelos modernos são mais parecidos com os helicópteros, porém com uma engenharia mais avançada e matriz energética limpa.

A diferença primordial entre um helicóptero e um VTOL está na quantidade de rotores, que servem para levantar a aeronave verticalmente durante a decolagem. Enquanto o primeiro apresenta apenas dois propulsores, um principal e um na cauda, o segundo apresenta mais, distribuídos estrategicamente por toda sua estrutura. Tal evolução possibilita melhor distribuição energética, trazendo mais eficiência e segurança para os voos (European Union Aviation Safety Agency, 2019).

Assim, no caso dos eVTOL, o uso de vários pequenos rotores elétricos substitui os dois motores convencionais à combustão presentes em helicópteros, diminuindo a concentração do peso em poucas áreas, e tornando o veículo até 3 vezes mais eficiente. Além de reduzir significativamente o ruído sonoro e zerar a emissão de CO₂ durante as operações. Nestas aeronaves estão sendo utilizadas baterias eletrizadas de íon-de-lítio mais avançadas, desenvolvidas a partir das incorporadas em carros elétricos (Yan; Wang; Qu, 2024).

Existem três categorias de eVTOL, os Multimotores, parecido com os helicópteros, mas com diversos propulsores e sem asa fixa; Lift + Cruise, que conta com rotores específicos para cada tipo de voo, vertical ou horizontal e apresentam asa fixa; e Empuxo Vetorial, utilizando um único sistema de empuxo tanto para voos verticais como horizontais. Essa última é subdividida em três subcategorias: propulsor inclinável, asa inclinável e design de dutos reclináveis (Yan; Wang; Qu, 2024).

Os carros voadores, por sua vez, são veículos de transporte destinados à baixas altitudes, com capacidade de transportar a mobilidade urbana de uma esfera bidimensional para tridimensional, de maneira inteligente. Integrando modais terrestres à aéreos com transição suave, e vice-versa. Esta inovação é representada majoritariamente pelos eVTOL e alguns outros modelos híbridos e também anfíbios, cujo foco central é o transporte de passageiros, serviços de emergência médica, turismo e cargas. Este novo segmento conta principalmente com a participação das

indústrias automotivas e aeronáuticas, além de startups tecnológicas (Yan; Wang; Qu, 2024).

Os protótipos híbridos aguentam maiores velocidades e distâncias, pois integram propulsão movida a eletricidade e a combustível, navegando e se adaptando entre ambas as fontes de energia. Os 100% elétricos apresentam não só um design futurístico, mas também sua própria proposta, por expender emissão de CO₂, e muito menos poluição sonora. Tornando-se ideais para trajetos mais curtos dentro de grandes centros urbanos. Os anfíbios, por sua vez, podem se utilizar de ambas fontes energéticas, e se destacam pela habilidade de transacionar entre o modal terrestre e verticalizado. No entanto, não possuem tantas iniciativas mais maduras no mercado quanto os outros (Yan; Wang; Qu, 2024).

Enquanto o planeta exige cada vez mais eficiência e sustentabilidade, o eVTOL se apresenta como peça chave na mobilidade aérea urbana. Unindo características de aviões e drones, este novo modelo de aeronave promete revolucionar a indústria e o transporte de passageiros. Seu desdobramento acelerado se dá principalmente pela evolução tecnológica das baterias e motores elétricos da automobilística; vanguarda dos drones na incorporação de materiais leves, como fibra de carbono; e por inovações na indústria da automação (Yan; Wang; Qu, 2024).

Caracterizando esta inovação como sucessora, tecnologicamente, dos helicópteros, trazendo benefícios como a redução dos custos operacionais, e da emissão de ruídos; suportar maiores distâncias e número de ocupantes; segurança intensificada; e design futurístico e ergonômico (Yan; Wang; Qu, 2024).

O caráter disruptivo mais dirigente destas aeronaves está nas melhorias quanto à eletrificação e à inteligência presentes em carros elétricos, ou seja, aos avanços das tecnologias da indústria 4.0, viabilizando sua incorporação na aviação. Resultando na capacidade aumentada de gestão e análise de dados operacionais através de IA, diminuindo os riscos e aumentando a confiabilidade no setor. Assim, os aperfeiçoamentos destas tecnologias abriram caminho para grande número de novos entrantes neste mercado em emergência (Yan; Wang; Qu, 2024).

Os primeiros projetos devem contar com uma capacidade limitada de viajantes, com serviços de transporte urbano, interligando regiões centrais à aeroportos, ou seja, baixo alcance (20Km - 50Km), e com pilotos convencionais. Já no período de 2025 a 2030, a cobertura deve chegar a 250Km e comportar maior

número de usuários, até 5 por vez. No último estágio, com a difusão da tecnologia, espera-se a transição para modelos autônomos (Baur et al., 2018).

Atualmente, encontram-se diversas empresas na luta para entrar neste mercado, de diversos países, inclusive contando com participação expressiva do Brasil. A empresa SMG Consulting (2025) elaborou um índice que mede a viabilidade de uma fabricante conquistar as certificações necessárias (*Type Certificate* - TC) e iniciar suas operações. Segue abaixo um quadro (Figura 2) resumo dos maiores competidores para este mercado, listados segundo o indicador de realidade:

Figura 2 - Características das fábricas desenvolvendo carros voadores e seus modelos

Fabricante	Origem	Índice de Realidade	Financiamento (Milhões de Dólares)	Utilidade	Tipo de Veículo	Propulsão	Operação	Modelos	Voo Teste	Início das Operações	Órgão Regulador	País
Ehang (NASDAQ: EH)	Startup	8.5	\$ 262,00	Turismo, EMS, Firefighting, Táxi Aéreo	Multicopter/ Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Autônomo	EH216-SI F/ VT-35	2018/ 2025	2025/ -	CAAC	China
Volocopter (Wafeng Diamond)	Startup	8.1	Apoio Corporativo	Táxi Aéreo, Turismo, EMS, Cargas	Multicopter/ Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	VoloCity/ VoloRegion	2021/ 2023	2027/ -	EASA	Alemanha/ China
Beta Technologies	Startup	8.0	\$ 1.303,00	Cargas, Regional, Táxi Aéreo	Conventional/ Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	Alia VTOL	2020/ 2022	2026/ 2027	FAA	EUA
Joby Aviation (NYSE: JOBY)	Startup	8.0	\$ 3.483,40	Táxi Aéreo	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	S4	2018	-	FAA	EUA
Archer (NYSE: ACHR)	Startup	7.8	\$ 2.864,20	Táxi Aéreo	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	Midnight	2023	-	FAA	EUA
Eve Air Mobility (Embraer)	Startup (Indústria Aeronáutica)	7.6	\$ 864,70	Táxi Aéreo	Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	Eve	2025	2027	ANAC	Brasil
AutoFlight	Startup	7.5	\$ 200,00	Cargas, Táxi Aéreo, SEM	Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	V2000EM Prosperity	2022	2026	CAAC	China
Aerofugia	Indústria Automobilística	7.4	\$ 52,00	Táxi Aéreo, Cargas, Turismo	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	AE200	2023	2025	CAAC	China
Wisk (Boeing)	Startup (Indústria Aeronáutica)	7.4	Apoio Corporativo	Táxi Aéreo	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Autônomo	Generation 6	2025	-	FAA	EUA
Volant Aerotech	Startup	7.2	\$ 161,00	Táxi Aéreo, EMS, Turismo	Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	VE25-100 SKYLAR	2023	2027	CAAC	China
Vertical Aerospace (NYSE: EVTL)	Startup	7.2	\$ 547,70	Táxi Aéreo, Cargas, EMS	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	VX4	2023	2028	CAA	Reino Unido
SkyDrive	Startup	7.0	\$ 315,90	Táxi Aéreo, Turismo, EMS	Multicopter	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	SKYDRIVE	2024	2027	JCAB	Japão
ZEROG	Startup	6.8	\$ 56,50	Turismo, EMS, SAR, Táxi Aéreo	Multicopter/ Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Autônomo/ Pilotado	ZG-ONE/ ZG-T6	2023/ 2025	2026/ 2028	CAAC	China
Supernal (Hyundai)	Indústria Automobilística	6.5	Apoio Corporativo	Táxi Aéreo, Cargas	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	S-A2	2025	2029	FAA	EUA
Ascendence	Startup	6.2	\$ 56,50	Regional, Cargas	Lift + Cruise	Híbrida	Pilotado	Atea	2026	2029	EASA	França
TCab Tech	Startup	6.2	\$ 100,00	Táxi Aéreo, Turismo	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	E20	2023	2027	CAAC	China
REGENT	Startup	6.1	\$ 90,00	Regional	Augmented Lift	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	Viceroy	2025	2026	Guarda Costeira dos EUA	EUA
eAViation (Textron)	Indústria Aeronáutica	5.9	Apoio Corporativo	EMS, Táxi Aéreo, Cargas	Vecored Thrust	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	Nexus	2025	2030	FAA	EUA
Electra	Startup	5.9	\$ 249,00	Regional, Cargas	Augmented Lift	Híbrida	Pilotado	EL-9	2027	2029	FAA	EUA
Honda Motor Company	Indústria Automobilística	5.5	Apoio Corporativo	Táxi Aéreo	Lift + Cruise	Híbrida	Pilotado	HondaJet	2024	2.030	FAA	Japão
Vertaxi	Startup	5.5	\$ 55,00	Turismo, Táxi Aéreo, EMS, Cargas	Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	M1	2023	2027	CAAC	China
Dufour Aerospace	Startup	5.1	\$ 11,00	EMS, Regional	Vecored Thrust	Híbrida	Pilotado	Aero3	-	-	EASA	Sulpa
Jaunt Air Mobility	Startup	4.4	Apoio Corporativo	Táxi Aéreo, Cargas	Lift + Cruise	Elétrica (eVTOL)	Pilotado	Journey	2029	2.031	Transport Canada	EUA
EMS: Serviços de Emergências Médicas (Emergencies Medical Services)												
SAR: Operações de Busca e Resgate (Search And Rescue)												
Firefighting: Combate a incêndios												

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados apresentados pela SMG Consulting LLC. (2025).

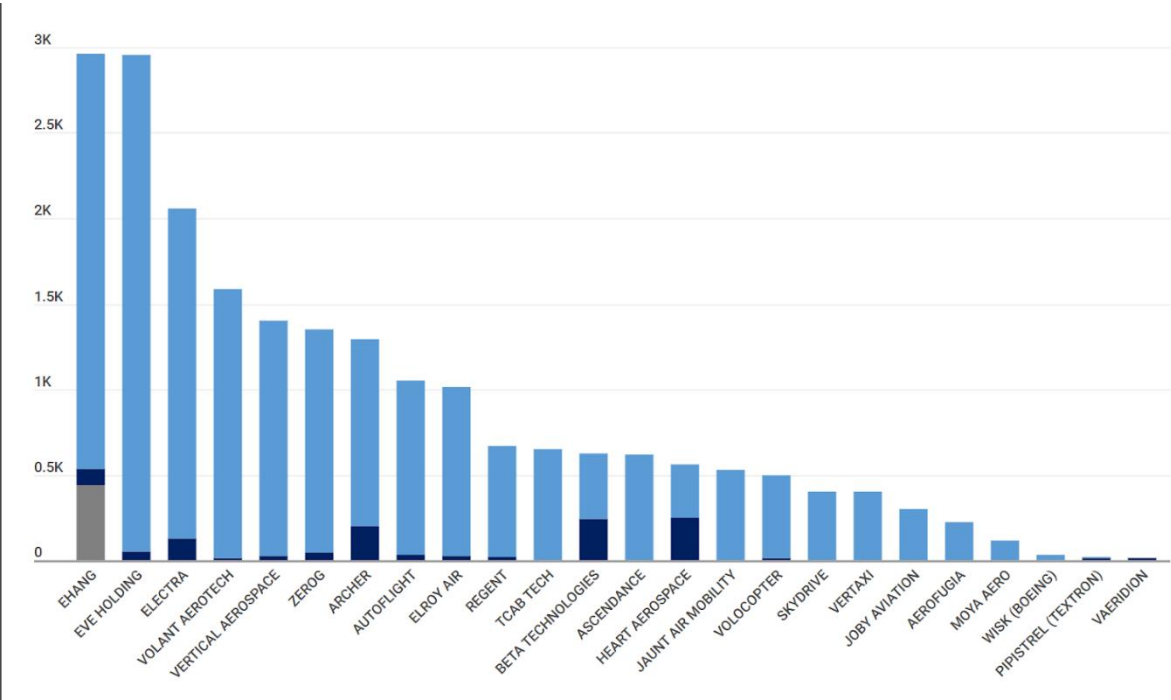
O Índice de Realidade retrata a expectativa das fabricantes de carros voadores de entrarem em operação, tomando como base seus investimentos adquiridos ao longo do tempo, a prontidão de sua tecnologia, a reputação da empresa,

os avanços na certificação e a capacidade de produção de aeronaves em escala real (SMG Consulting LLC, 2025). Segundo o mesmo, dentre as empresas que mais se destacam, estão E-Hang (China), Volocopter (Alemanha/ China), Beta Technologies (EUA), Joby Aviation (EUA), Archer (EUA) e, em sexto lugar, Eve Air Mobility (Brasil).

Observa-se, que, embora contenha alguns participantes das indústrias aeronáutica e automobilística, a maioria das empresas se configura como startups, ou seja, novos entrantes, como já havia sido apontado pelos trabalhos de Ferreira e Junior (2020) e Yan, Wang e Qu (2024). Além disso, fica evidente a dominância dos eVTOLs neste novo mercado, como discutido pelos autores. Sendo sua maioria pilotados, com exceção dos modelos produzidos pela E-Hang, que já apresentam voos autônomos com uso de IA, e pela Wisk, ainda em estado mais inicial.

Ademais, verifica-se participação de diversos países e regiões nesta nova segmentação da indústria aeronáutica, no entanto, predominam os Estados Unidos da América (EUA) e a China, que concentram a maior parte dos fabricantes. Porém, há contribuição expressiva do Brasil, com a Eve Air Mobility, filial da Embraer, brasileira que se sobressalta por se posicionar como a terceira maior fabricante de aeronaves do mundo.

Figura 3 - Pedidos das fabricantes



Fonte: SMG Consulting LLC., 2025

Embora a Figura 2 traga um domínio da China e dos Estados Unidos na prontidão de seus modelos de carros voadores, a Figura 3 acima, por sua vez, traz um gráfico evidenciando as intenções de compra (azul claro), pedidos firmes (azul escuro), e entrega (cinza) de cada fabricante, evidenciando o otimismo do mercado quanto aos veículos da E-Hang e da Eve.

A startup chinesa Ehang, fundada em 2014, já tornou os carros voadores uma realidade na China e no mundo, foi a pioneira a realizar voos-teste já tripulados, em 2016 e em 2019 se tornou a primeira do setor registrada na Nasdaq (uma bolsa de valores específica para empresas de tecnologia).

Em 2020, a empresa conquistou aprovação dos devidos órgãos reguladores para conduzir voos-teste em diversos países, como Áustria, Canadá, China, Estados Unidos, Coreia e Noruega. E realizou demonstrações tripuladas em 8 nações. Durante a pandemia de COVID-19, a empresa foi selecionada para integrar o projeto Ambular da Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO), com o objetivo de estruturar serviços de ambulância aérea para emergências da saúde (Ehang, 2021).

Assim, suas aeronaves passaram a atuar na locomoção de profissionais e suprimentos da aérea médica de modo a evitar contato humano. Posteriormente, no meio do ano, inaugura-se uma nova versão de seu carro voador, voltado ao combate à incêndios. Em setembro, anunciam um projeto logístico, voltado tanto às zonas urbanas como rurais. Ainda em 2020, desenvolvem o terceiro Centro de Comando e Controle para cidades inteligentes, voltado à gestão da Mobilidade Aérea Urbana (UAM). Sendo os primeiros situados em Shaoguan e Lianyungang e o último em Hezhou (Ehang, 2021).

Em janeiro de 2021, a Ehang envia ao órgão regulador chinês da aviação civil seu modelo de Type Certificate para seu carro voador EH216, e em 2022 o mesmo é aprovado. No início do segundo trimestre, a fabricante apresenta a iniciativa *100 Air Mobility Routes* na China, consolidando-se não só como produtora de eVTOLs, mas também como prestadora de serviços de operação de voo para UAM (Ehang, 2022).

A empresa também se utilizou da parceria com a Heli-Eastern, com o Centro de Experiência em Mobilidade Aérea Inteligente 5G e com a Companhia Limitada de Investimentos em Comunicações do Distrito de Guangzhou para realizar

mais de 4.000 voos-teste em 9 pontos da China. E em junho de 2021 inaugura uma planta em Yunfu, com capacidade anual de produção de 600 aeronaves (Ehang, 2022).

Em 2022, a Ehang atingiu diversos marcos significativos para seu negócio. Logo no primeiro mês recebeu um pré-pedido de 50 unidades do modelo EH216 Series pela empresa AirX Inc, do Japão. No segundo, se torna a primeira a conquistar o Type Certificate, certificado de aeronavegabilidade, para eVTOL autônomo com transporte de passageiros (Ehang, 2023).

Em março firma colaboração com a AeroTree, da Malásia, para implementar serviços de MRO (Manutenção, Reparo e Revisão) e treinamentos no país. No mês seguinte recebe mais um pré-pedido, desta vez da Malasiana Prestige Image Aviation, por 100 unidades do EH216-S. Em maio consolida parceria com um dos maiores conglomerados de UAM e venda de veículos aéreos não tripulados (VANT) da Tailândia (Ehang, 2023).

Em junho, uma companhia associada ao município de Jishou, realiza um pré-pedido por 5 unidades, podendo se estender a 25 adicionais. No mesmo mês, a Agência de Guangzhou do Banco Agrícola da China concebeu crédito de 1 bilhão de RMB, aproximadamente 150 milhões de dólares, para contribuir com as operações da Ehang no país (Ehang, 2023).

Em outubro, a fabricante colabora com a Hong Kong Aircraft Engineering LC para reforçar seu compromisso constante com as normas de aeronavegabilidade, plataformas digitais, serviços de pós-venda, manutenção e treinamento, buscando segurança e excelência em suas operações comerciais. Em dezembro, a Nova Região da Costa Oeste de Pingdao investe 100 milhões de dólares na Ehang para fazer da cidade referência em UAM (Ehang, 2023).

Em 2023, a fabricante chinesa realiza voos-teste em 15 países e consolida a entrega de 52 eVTOL EH216 Series (Ehang, 2024). Em 2024 a empresa dispara seu espaço no mercado ao entregar 216 unidades de seu modelo EH216, que totalizaram mais de 66.000 voos em 19 países. (Ehang, 2025a).

Figura 4 – Modelo eVTOL EHANG EH216-S



Fonte: Ehang, 2025b

A Joby Aviation teve seu início em 2009, na Califórnia (EUA), como uma startup composta por 7 engenheiros e um objetivo: ultrapassar as barreiras tecnológicas nos campos de motores movidos à energia elétrica, software de voo e baterias de íon de lítio. Em 2012 são reconhecidos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e nasce uma parceria. Três anos depois definem o projeto em escala reduzida do que viria a ser seu carro voador. Em 2017 é testado o protótipo em escala real (Joby Aviation, 2025e).

Em 2019 contam com investimentos e mentoria da Toyota para a produção e no ano seguinte conquistam a certificação de aeronavegabilidade pela Força Aérea dos Estados Unidos. O primeiro eVTOL a atingir o marco. No mesmo ano reforçam seu relacionamento com a Uber, incorporando seus serviços no aplicativo. Também passou a ter direitos sobre o programa Elevate da empresa, contando com conhecimento em lançamento comercial e ferramentas de software (Joby Aviation, 2025e).

Em 2022 adquire o Certificado Part 35 Air, possibilitando sua inserção no mercado de serviços de táxi aéreo comercial. No mesmo ano entram em acordo com a Companhia Aérea Delta, visando acrescentar esta solução para conectar os clientes aos aeroportos desde suas residências, elevando sua experiência. No ano seguinte inaugura uma pequena fábrica na Califórnia e planeja erguer uma planta construtiva de larga escala em Ohio, com capacidade para 500 aeronaves por ano. Ainda em 2023, entrega o primeiro eVTOL à Base Da Força Aérea de Edwards, e em 2024, o

segundo, como parte de um contrato multimilionário com o Departamento de Defesa dos EUA (Joby Aviation, 2025b e 2025e).

A startup também anunciou uma parceria com a L3 Harris para desenvolver um carro voador híbrido e autônomo, com foco em defesa. O modelo já está em fase de testes, e a expectativa do primeiro voo é para 2026 (Joby Aviation, 2025c). Além disso, no âmbito comercial, firmou uma colaboração com a Blade para absorver seus mais de 40.000 usuários de helicóptero, registrados em 2024, em conjunto com a Uber (Joby Aviation, 2025d).

Figura 5 – eVTOL Joby Aviation S4



Fonte: Joby Aviation (2025a)

No Brasil, por sua vez, a EVE surge em 2017 a partir de um projeto de inovação da EMBRAER, e se torna independente em 2020. No ano seguinte se une à Zanite, cuja missão é investir em tecnologias nascentes (EVE Air Mobility, 2025b). Segundo a fabricante, seu modelo (EVE-100) realizará o trajeto do Aeroporto Internacional de Miami à South Beach em apenas 15 minutos e sem emitir CO₂, enquanto veículos convencionais levariam três vezes mais tempo, liberando 25Kg de gás carbônico. A estimativa é que o modelo percorra uma distância de até 100km com velocidade máxima de 200Km/h (EVE Air Mobility, 2025e).

Em 2021, a Eve requisitou recursos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), o qual injetou 490 milhões de reais, cerca de 97 milhões de dólares, no ano seguinte, para financiar desde o início das engenharias até os primeiros protótipos. O auxílio ao carro voador brasileiro se deu pelos programas de incentivo à inovação, Fundo Clima, e apoio à Mobilidade Urbana, justificado pelo caráter disruptivo da nova tecnologia (Gomes; Baran; Vital; Araújo, 2025).

Em 2024, foram aprovadas mais duas rodadas de inversões, a primeira dedicada a estabelecer uma planta produtiva em Taubaté-SP, no valor de 500 milhões de reais, equivalente a 91 milhões de dólares na época. A segunda, no valor de 200 milhões de reais, aproximadamente 36,4 milhões de dólares, para montar os protótipos iniciais (Gomes; Baran; Vital; Araújo, 2025).

Figura 6 - eVTOL EVE-100



Fonte: EVE Air Mobility (2025e)

A empresa já acumulou um backlog de mais de 2800 cartas de intenção para suas aeronaves, sendo 76% para as Américas (56% para a América do Norte, 18% para a América do Sul, e 2% para a América Central, 9% para a Ásia, 7% para a Europa, 5% para Oceania, 1% para o Oriente Médio e 2% não foram divulgados). O início do voo teste está previsto para 2026 (EVE Air Mobility, 2025c). No Paris Air Show de 2025, a fabricante recebe o primeiro pedido firme, de 50 eVTOLs a serem entregues à Revo (EVE Air Mobility, 2025b).

Assim, com o elevado número de backlog acumulado pelas empresas, o mercado se demonstra confiante quanto à nova tecnologia e suas soluções. Contudo, ainda há riscos e desafios a serem superados.

4 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

4.1 Desafios

No mundo contemporâneo, muito se ouve nas principais notícias e jornais a questão da mudança climática e os impactos que vêm causando no planeta, como enchentes, incêndios em áreas florestais, e aumento da temperatura global. Segundo estudo de Scheffer (2019), a expectativa é de que nas próximas décadas o ser humano experimente aumentos na temperatura do planeta maior do que a variação dos últimos 6 mil anos, dado constante o crescimento populacional e de negócios.

Até 2070, o ser humano deve vivenciar uma sensação térmica de 7,5 C° a mais, enquanto a temperatura da Terra deve subir 3,3 C° no mesmo período. Essa diferença se explica pelo maior aumento da sensação térmica em regiões mais populosas, e mais ameno nos oceanos (Scheffer, 2019).

De acordo com o relatório da EASA (Agência Europeia para a Segurança da Aviação), a indústria da aviação é responsável por 3,0% das emissões mundiais de CO₂. O documento também reconhece que o transporte aéreo tem contribuído para alterações climáticas, ruídos, e piora na qualidade do ar. Assim, visando manter a saúde deste segmento no longo prazo, a União Europeia e Países Membros, em junto com as indústrias, buscam soluções inovadoras para enfrentar os desafios ambientais. (EASA, 2019)

Assim, visando introduzir no mercado uma tecnologia capaz de enfrentar as barreiras ambientais, surge o eVTOL, uma aeronave elétrica inovadora capaz de decolar e pousar verticalmente, oferecendo vantagens significativas em mobilidade urbana e transporte. Caracterizado por propulsão elétrica, autonomia e capacidade de carga variável, promete revolucionar o setor aéreo. Suas aplicações potenciais incluem transporte urbano, emergências médicas, vigilância, logística e entrega (Zhou, Jin, Wu & Yang, 2024).

Os eVTOL oferecem diversos benefícios econômicos e ambientais. Eles podem ajudar a equilibrar melhor o consumo de energia ao modificar os picos na curva de demanda atual. Economicamente, os usuários finais dos eVTOL podem lucrar participando dos serviços de veículo-para-rede (VELAZ-ACERA, Néstor; et al, 2023).

As empresas de energia também podem se beneficiar ao utilizar a capacidade de armazenamento dos eVTOL para estabilizar a rede elétrica, e os operadores do sistema podem reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência na gestão da rede (VELAZ-ACERA, Néstor; et al, 2023).

Em termos de impactos ambientais, inovações na mobilidade aérea urbana tem um potencial considerável para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, principalmente com a adoção de aeronaves elétricas, como os eVTOLs. Sua composição promove uma maior integração de fontes de energia renovável no sistema elétrico, resultando em uma redução estimada de cerca de 4,6% nas emissões globais. Além disso, a metodologia proposta permite prever melhor a demanda por eVTOL em territórios específicos (VELAZ-ACERA, Néstor; et al, 2023).

Ademais, outra proposta dos carros voadores é oferecer uma solução sustentável aos congestionamentos enfrentados em grandes cidades, aprimorando a mobilidade urbana. Uma vez que, em países com a renda mais elevada, na Europa Ocidental, Reino Unido, Américas e Oriente Médio, apenas 20% dos habitantes residem em zonas rurais. Na China, este número se aproxima dos 40% (Yan; Wang; Qu, 2024).

O adensamento excessivo em regiões urbanizadas traz consigo certas dificuldades, como ineficiência na locomoção devido ao tráfego intenso. O que acarreta também em consequências econômicas. Em 2019, os EUA bateram recorde nos gastos relacionados ao engarrafamento, chegando a 88 bilhões de dólares. Entre 2021 e 2022, houve um salto de USD 53 bilhões para USD 81 bilhões (Yan; Wang; Qu, 2024).

Na China, em 2022, Chongqing registra uma velocidade média de 29,84Km/h durante horário mais movimentado do dia, passando a capital chinesa, com média de 31,11Km/h, e se tornando a cidade mais congestionada do país (Yan; Wang; Qu, 2024).

Assim, torna-se interessante a ideia de aproveitar o espaço aéreo como forma de descentralizar os congestionamentos nas vias terrestres. Arelado à preocupações com o meio ambiente e à iniciativas de reduzir emissões de gases poluentes, destaca-se a necessidade de busca por fontes de energia limpa, como a elétrica, e incorporá-la à um modal de transporte verticalizado, resultando nos eVTOL (Yan; Wang; Qu, 2024).

Portanto, segundo o artigo de VELAZ-ACERA, et al (2023), as aeronaves eVTOL representam um novo mercado na aviação, com o objetivo de transformar a mobilidade tanto dentro das cidades quanto entre elas, através de um sistema de

transporte aéreo de passageiros que prioriza sustentabilidade, segurança, eficiência e acessibilidade sob demanda.

Contudo, diversas tecnologias serão fundamentais para o sucesso dos eVTOLs, incluindo baterias de alta densidade energética, inteligência artificial, conectividade 5G e sistemas de navegação autônoma. A demanda por talentos especializados também será elevada, com estimativas de até mil engenheiros por fabricante. A infraestrutura necessária para suportar essa nova modalidade de transporte inclui vertiportos, sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo urbano e integração com modais terrestres (Deloitte Insights, 2022).

Portanto, para a implementação, operacionalização e difusão dos eVTOL no mercado, há uma série de desafios a serem desbravados, os quais podem ser divididos em 3 categorias. A Tecnologia, abrangendo as baterias elétricas e sua eficiência, por impactarem diretamente a capacidade e o alcance das aeronaves, se fazendo necessário maior armazenamento e otimização da densidade energética; e a propulsão, essencial para erguer voo e manter um cruzeiro estável (Yan et al, 2024).

Em seguida, a Infraestrutura, diretamente ligada à segurança, tanto física, como a construção de vertiportos, pontos de recarga e rotas específicas; como digital, contando com a comunicação, gestão e monitoramento do fluxo de aeronaves, visando minimizar os riscos e evitar conflitos. Por último, a questão regulatória, com o objetivo de manter a segurança, confiabilidade e acessibilidade dos carros voadores. Outrossim, estipular e fiscalizar normas para garantir a privacidade e bem-estar da população, bem como assegurar os padrões de sustentabilidade (Yan et al, 2024).

Em adição, segundo os autores Cohen, Shaheen e Farrar (2021), as condições climáticas também representam mais um obstáculo importante para a UAM, pois operações seguras dependem de previsões precisas e de tecnologias que possam resistir a diferentes condições meteorológicas. Os mesmos ressaltam a importância da segurança, tanto nas plataformas de embarque e desembarque, quanto durante as operações, para evitar colisões e ataques cibernéticos. E como essas questões refletem na aceitação do público.

4.1.1 Baterias

As emissões totais dependem de vários fatores, incluindo a eficiência das baterias e a ocupação das aeronaves. Embora um eVTOL com um único ocupante

gere emissões menores do que um veículo movido a combustível fóssil, ele ainda apresenta uma pegada de carbono maior do que um carro elétrico (BEV) com ocupação similar (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Por outro lado, quando um eVTOL transporta múltiplos passageiros, suas emissões podem ser significativamente menores do que as de veículos tradicionais e BEVs, especialmente se o número de passageiros for alto o suficiente para justificar as emissões relacionadas à operação. No entanto, em seus primeiros anos de operação, o UAM pode depender de helicópteros e VTOLs movidos por fontes de energia não renováveis, uma vez que a tecnologia de baterias ainda não oferece a autonomia necessária para tornar o UAM competitivo (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Logo, para reduzir os impactos ambientais, será crucial promover o uso de aeronaves com maior ocupação e a pesquisa para baterias mais eficientes, além de integrar mais pesquisas sobre as emissões ao longo do ciclo de vida das aeronaves, incluindo sua produção e descarte, que são fatores ainda pouco estudados (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Melhorias tecnológicas, como eletrificação e design otimizado das aeronaves, podem reduzir o impacto sonoro, mas o crescimento da UAM em áreas densamente povoadas pode tornar o ruído um problema persistente. Leis atuais permitem que governos locais adotem medidas para mitigar o ruído, como uso do solo e regulamentações em áreas residenciais, mas limitações legais para restrições adicionais de ruído ainda são um obstáculo para novos padrões que beneficiem comunidades urbanas (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

O ruído das aeronaves é uma preocupação importante em áreas residenciais, e a expectativa é de que o alto nível de ruído dos helicópteros limite seu uso em ambientes urbanos. Estudos indicam que o tipo e o volume de som das aeronaves eVTOL impactam diretamente a percepção pública sobre a aeronave, com expectativas de que esses veículos sejam significativamente mais silenciosos que os helicópteros tradicionais (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

Por sua vez, o estudo de Yan et al. (2024) destaca o papel dos avanços em tecnologias essenciais, como baterias de alta capacidade, propulsores elétricos e sistemas de controle autônomo para possibilitar o uso de eVTOLs em ambientes urbanos. Os eVTOLs são projetados para operarem com baixo ruído e alta eficiência

energética, ambos fatores cruciais para minimizar o impacto ambiental e o incômodo em áreas densamente povoadas.

Para objeto de comparação, o artigo da Grepow explora as diferenças entre baterias para eVTOLs (veículos elétricos de decolagem e pouso vertical) e EVs (veículos elétricos), destacando as demandas específicas das baterias eVTOL. Essas baterias precisam suportar picos de energia elevados em momentos críticos, como na decolagem e pouso, o que exige uma densidade de energia mais alta que as de baterias EV convencionais. Além disso, as baterias para eVTOL são projetadas para suportar carregamentos rápidos, permitindo operações mais frequentes e garantindo eficiência operacional (Yan; Wang; Qu, 2024).

As baterias eVTOL devem também atender a padrões rigorosos de segurança devido às características do voo, incluindo um sistema robusto de gerenciamento de bateria (BMS) para monitoramento constante. Esse sistema gerencia a temperatura e previne falhas durante o voo, evitando riscos para passageiros e tripulação. Além disso, como os eVTOLs operam em ambientes urbanos, os requisitos de autonomia e ciclos de recarga são ajustados para cerca de 1.600 ciclos por ano, enquanto ainda se mantém a capacidade de desempenho necessária para voos seguros e eficientes (Yan; Wang; Qu, 2024).

Observa-se que as baterias de EV, embora semelhantes em algumas características de design, são menos exigentes em termos de densidade energética e tempo de recarga, uma vez que os EVs não enfrentam demandas de potência tão intensas como os eVTOLs. As baterias de EV podem tolerar ciclos de carga mais longos e são projetadas para se adequar ao uso em estradas, onde a demanda por potência é mais constante e menos crítica do que em operações aéreas (Yan; Wang; Qu, 2024).

Portanto, os eVTOL estão apostando nas baterias de íon de Lítio, o que se torna possível graças aos recentes avanços tecnológicos que trazem consigo desde se popularizou com o desenvolvimento de carros elétricos e híbridos, resultando no aumento de energia e densidade de potência, tornando viável e segura aplicação à aeronaves de pequeno porte, como os carros voadores (Yan; Wang; Qu, 2024).

Quanto à discussão entre troca das baterias ou suas recargas, foi estipulado que, embora a substituição das mesmas seja de fato mais rápida do que a segunda opção, reduzindo o tempo da aeronave parada em solo, este processo

demandaria maior número e qualificação de trabalhadores, treinamentos e inspeções de segurança, elevando os custos operacionais. Assim, o tempo não se torna o fator mais relevante. Além disso, a recarga destas baterias é extremamente eficiente, levando cerca de 30 minutos para carga total (Bridgelall, 2023).

Esta rapidez se dá pelos avanços na tecnologia de dispositivos de SiC (Carbonato de Silício) e GaN (Nitrito de Galício), comumente utilizados na recarga de veículos elétricos. Dentre as atualizações, se destacam menor perda de condução e comutação; resistência à maiores temperaturas durante a operação; e melhor estabilidade dos parâmetros. Ademais, o isolamento de conversão com uso de GaN reduz o volume em 53% e o peso em 79%. Aumentando a densidade de potência em 170% e a potência específica em 500%, comparado à dispositivos à base de Si (Yan; Wang; Qu, 2024).

4.1.2 Infraestrutura

Por sua vez, o desenvolvimento e a integração de infraestrutura crítica para aeronaves de decolagem e pouso vertical elétrico são fundamentais para a adoção em larga escala e o futuro da Mobilidade Aérea Avançada (AAM). Embora as primeiras operações comerciais de eVTOL estejam previstas para iniciar em 2025, utilizando infraestruturas já existentes (como aeroportos e heliportos), o sucesso a longo prazo da AAM depende da criação de novas instalações e capacidades específicas para sustentar o ecossistema operacional dessas aeronaves (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

A construção dessa infraestrutura envolve desafios extremos, especialmente no que diz respeito a questões legais que incluem desde o uso do espaço aéreo federal até a regulamentação de zoneamento local e a infraestrutura digital necessária para gerenciar o tráfego aéreo e a comunicação entre veículos (AAM Insights, 2023).

A UAM depende de uma infraestrutura complexa, que inclui locais de pouso e decolagem (vertiportos), sistemas de carregamento de baterias, e uma rede de comunicações robusta e segura. A construção destas estruturas requer investimentos significativos e enfrenta obstáculos como resistência local, custos elevados e a necessidade de integração multimodal. Embora, inicialmente, os heliportos existentes possam ser adaptados, será necessário construir novas infraestruturas, devido ao

regimento do setor, o que será um processo demorado e caro (Cohen; Shaheen; Farrar, 2021).

A adaptação da infraestrutura urbana para suportar essa nova forma de mobilidade exigirá planejamento urbano cuidadoso, incluindo o uso de ferramentas como códigos de forma e distritos de sobreposição, que podem ajudar a integrar os vertiportos de maneira eficiente nas cidades, sem prejudicar a estrutura urbana existente. A utilização de infraestruturas públicas, acessíveis a vários prestadores de serviços, também pode aumentar a conectividade e a escalabilidade do sistema. Outro aspecto relevante é a necessidade de uma rede eficiente de recarga de baterias, para garantir que os veículos elétricos tenham a autonomia necessária para realizar suas operações sem interrupções (COHEN; SHAHEEN; FARRAR, 2021).

A segurança das plataformas no processo de embarque e a bordo das aeronaves também é uma preocupação constante, especialmente em cenários autônomos, onde não há tripulação humana. Questões como o sequestro de aeronaves, ataques com lasers e violência contra os passageiros precisam ser tratadas com políticas rigorosas. Algumas soluções possíveis incluem o uso de tecnologias de biometria, sistemas de avaliação de passageiros e programas de "viajantes confiáveis", que ajudariam a mitigar riscos durante o embarque e a viagem. Além disso, a proteção física das aeronaves, dos vertiportos e da infraestrutura associada será fundamental para garantir a segurança física.(COHEN; SHAHEEN; FARRAR, 2021).

Vertiportos são o coração da infraestrutura da AAM. Atualmente, governos e organizações de padronização estão desenvolvendo normas de design e segurança para esses espaços. Nos Estados Unidos, a FAA (Administração Federal de Aviação) divulgou diretrizes preliminares de design para vertiports em 2022, estabelecendo padrões de segurança provisórios. A intenção é que essas diretrizes evoluam para um padrão de design baseado em desempenho, o que pode simplificar o processo de construção e reduzir custos, ajudando a acelerar a criação de vertiports necessários para o aumento da operação de aeronaves eVTOL. A ASTM *International* também publicou uma especificação para o design das plataformas, oferecendo diretrizes escaláveis para estados e municípios adaptarem a infraestrutura de AAM (AAM Insights, 2023).

O papel de governos estaduais e locais na criação de vertiports é fundamental, pois o planejamento urbano precisa incorporar essas novas infraestruturas. Para maximizar os benefícios econômicos projetados da AAM, os governos locais terão que zonear áreas específicas e permitir o crescimento dessas instalações. Além disso, é essencial que as plataformas estejam integrados ao sistema de transporte terrestre e que atendam às necessidades de operações de carga, aumentando a eficiência logística. Um desafio significativo é que a demanda elétrica necessária para recarregar as aeronaves eVTOL em grande escala será alta, exigindo investimentos em infraestrutura elétrica robusta para atender à demanda. Isso inclui estudos de engenharia para avaliar os custos e prazos de fornecimento de energia suficiente para cada vertiporto (AAM Insights, 2023).

Outro aspecto importante do desenvolvimento da AAM é o engajamento com stakeholders, como o Departamento de Transportes dos EUA (DOT), que abriu períodos para receber comentários públicos sobre temas relacionados à AAM. Em um pedido recente de informações (RFI), o DOT abordou tópicos como os casos de uso futuros da AAM, a expansão da mobilidade aérea mantendo a segurança, a estrutura legal e política necessária, impactos ambientais e a criação de novos empregos. O RFI destacou, especialmente, a necessidade de infraestrutura em solo (como manutenção e acessibilidade dos vertiports), sistemas de comunicação e navegação, previsão de condições meteorológicas, compatibilidade multimodal e recursos para serviços de emergência, todos elementos essenciais para o sucesso operacional da AAM (AAM Insights, 2023).

A eletricidade é uma infraestrutura crítica para o sucesso das operações de eVTOL em larga escala. Para assegurar que vertiports possam operar em alta frequência e densidade, as concessionárias de energia terão que avaliar e preparar as redes elétricas locais, entendendo a demanda de carga que os veículos representam. O desenvolvimento de uma infraestrutura elétrica adequada envolve alto custo e tempo, sendo um dos principais desafios logísticos para a expansão da AAM. Assim, é imprescindível a colaboração entre setor privado e público para realizar investimentos e implementar melhorias na infraestrutura de energia (AAM Insights, 2023).

Por fim, vertiports precisam estar preparados para operações comerciais já em 2025, com perspectivas para o aumento gradual da frequência de voos,

chegando a um cenário de operações autônomas no futuro. Para atingir esses objetivos, será essencial que o setor industrial e o governo trabalhem juntos para desenvolver uma estratégia de longo prazo, abordando as necessidades operacionais e assegurando a viabilidade dessa nova mobilidade aérea. A continuidade do diálogo com reguladores e a colaboração para atender aos requisitos de zoneamento e segurança são passos fundamentais para garantir um futuro promissor para a Mobilidade Aérea Avançada (AAM Insights, 2023).

4.1.3 Regulamentações

A aviação civil depende de regulamentações rigorosas para garantir segurança, eficiência operacional e inovação tecnológica. Atualmente, os principais órgãos reguladores são a *International Civil Aviation Organization* (ICAO), criada em 1944 e ligada à ONU, padroniza regulamentos internacionais e coordena normas globais para segurança operacional, tráfego aéreo e sustentabilidade (ICAO, 2025).

A *Federal Aviation Administration* (FAA), fundada em 1958, regula a aviação civil nos EUA, supervisionando certificações de aeronaves, pilotos e aeroportos, além de desenvolver regras para integração de eVTOLs ao espaço aéreo (FEDERAL AVIATION AGENCY, 2025). A *European Union Aviation Safety Agency* (EASA), criada em 2003, harmoniza normas de segurança aérea na União Europeia, liderando iniciativas para certificação de eVTOLs, como baterias, propulsão elétrica e integração de vertiportos (European Union Aviation Safety Agency, 2024).

A responsável por regular a aviação civil no Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (2023a, 2023c), fundada em 2005, divulgou seguir padrões internacionais e colaborar com órgãos estrangeiros, como a FAA e EASA, para alinhamento regulatório e certificação de aeronaves emergentes, incluindo os eVTOLs.

As principais certificações necessárias para operação segura destes novos modelos de aeronaves incluem a Type Certificate (TC), que assegura que o projeto atende aos requisitos de segurança; A Certificação de Produção (PC), garantindo que as unidades fabricadas seguem o modelo aprovado; A Certificação de Aeronavegabilidade (*Airworthiness Certification*), garantindo inspeção individual de cada unidade antes da operação comercial; e Certificação de Piloto (*Pilot*

Certification), que estabelece padrões de treinamento e habilitação para os pilotos (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Além dessas certificações, a integração dos eVTOLs no espaço aéreo requer planejamento estratégico para garantir a segurança das operações em ambientes urbanos. A FAA e a EASA têm investido em estudos para garantir que esses veículos operem de forma segura, definindo requisitos específicos para tráfego aéreo e infraestrutura (Yan; Wang; Qu, 2024).

Com a crescente cooperação entre órgãos como FAA, EASA, ANAC e ICAO, a regulamentação de eVTOLs avança para viabilizar sua operação comercial segura e integrada ao transporte aéreo global. A padronização internacional e a adaptação das regras de certificação são essenciais para que fabricantes tenham acesso a múltiplos mercados sem necessidade de revisões extensivas nos seus processos (Yan; Wang; Qu, 2024).

No futuro, espera-se que novas certificações específicas para eVTOLs sejam criadas para abranger aspectos únicos dessas aeronaves, como gestão de energia, requisitos de pouso vertical e autonomia avançada. A regulamentação sólida e integrada será um fator-chave para garantir que esses veículos desempenhem um papel essencial na mobilidade aérea urbana e sustentável (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

As regulamentações precisarão abordar estratégias robustas de proteção de dados e integridade dos sistemas para evitar interferências, hacking ou sequestro remoto. Essa proteção é essencial para garantir que o crescimento da UAM ocorra com confiança pública e segurança, tanto no espaço aéreo quanto nas infraestruturas de suporte, como os vertiportos, que deverão ser adaptados para acomodar uma operação contínua e segura desses veículos inovadores (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Assim, a implementação da UAM envolve uma série de desafios regulatórios. As regulamentações de tráfego aéreo e transporte urbano, desenvolvidas para sistemas tradicionais, podem ser insuficientes para lidar com as particularidades da UAM. A criação de um novo quadro regulatório será essencial para a operação segura dos eVTOLs, bem como para garantir a aceitação social dessa nova forma de transporte. A literatura revisada também enfatiza que uma cooperação internacional será necessária para padronizar regulamentações que assegurem a segurança e

promovam a integração dos sistemas de UAM com os sistemas de transporte já existentes, minimizando os impactos ambientais e sociais (Yan; Wang; Qu, 2024)

4.1.4 Condições Climáticas

Os desafios climáticos e operacionais são uma preocupação central. O tamanho reduzido das aeronaves de UAM torna-as mais vulneráveis a condições meteorológicas adversas, como baixa visibilidade, formação de gelo nas superfícies de voo, cisalhamento do vento e tempestades. Esses fatores aumentam os riscos para a segurança dos passageiros e a operação das aeronaves. Aeronaves de menor porte, comuns em UAM, são particularmente sensíveis a essas condições, o que poderia resultar em atrasos ou até mesmo na suspensão de voos (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Para superar esses desafios, uma abordagem possível seria o uso de frotas mistas, com diferentes tipos de aeronaves, cada uma projetada para operar de maneira eficaz em diferentes condições climáticas e ambientais. Além disso, a implementação de plataformas de mobilidade sob demanda e como serviço (MaaS) poderia ajudar a contornar a imprevisibilidade das condições climáticas. Isso permitiria que os passageiros fossem automaticamente realocados para outros modos de transporte em caso de condições meteorológicas adversas, melhorando a confiabilidade e reduzindo os impactos das condições climáticas no transporte urbano aéreo (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

4.1.5 Segurança

Estudos recentes sobre o potencial dos eVTOLs enfatizam a importância dos sistemas de percepção e sensoriamento para a segurança em operações de voo autônomas. Tecnologias como detecção e prevenção de obstáculos e inteligência artificial aplicada ao controle de voo têm avançado rapidamente, viabilizando operações seguras em espaços aéreos complexos (Yan et al, 2024).

No aspecto da gestão do tráfego aéreo, a UAM precisa ser integrada ao espaço aéreo urbano, onde já operam aeronaves comerciais e drones, sem causar interferências. Isso exige a implementação de sistemas de gerenciamento de tráfego sofisticados e tecnologias avançadas de rastreamento e comunicação (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

A FAA desenvolveu o conceito de operações (ConOps) para UAM, que propõe a introdução gradual das operações UAM, começando com operações de baixa complexidade e avançando para operações mais densas e complexas em áreas urbanas e suburbanas. Inicialmente, os veículos UAM devem operar em corredores aéreos dedicados, onde as aeronaves podem se comunicar diretamente para evitar colisões sem a intervenção constante de controladores de tráfego aéreo (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Os Provedores de Serviços para UAM (PSUs) também terão um papel central ao processar pedidos de voo, coordenar a ocupação do espaço aéreo e facilitar a troca de informações entre diferentes veículos em tempo real, garantindo uma operação mais fluida e segura. Esse sistema é visto como uma extensão do Gerenciamento de Tráfego Não Tripulado (UTM), que monitora aeronaves não tripuladas em tempo real e já foi implementado em algumas regiões pela FAA (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

A relevância da segurança passiva é enfatizada pela análise de estatísticas de acidentes e percepções dos clientes, com comparações entre os processos de regulamentação e certificação das indústrias automotiva e aeronáutica. Três testes de colisão específicos para eVTOL foram identificados para investigar as condições de impacto e os desafios estruturais para a proteção dos passageiros (Laarmann; et al, 2023).

Assim, ao se planejar o eVTOL foram consideradas as análise de estatísticas de acidentes de aviões comerciais e helicópteros; estudo da probabilidade e gravidade de acidentes em comparação com os efeitos de alcance e custo; Taxas de ocorrência de acidentes de aviões e helicópteros comerciais na Europa entre 2015 e 2019. Chegando à uma estimativa de 1.600 acidentes fatais e 7.600 incidentes graves por ano em uma indústria de eVTOL globalmente desenvolvida (Laarmann; et al, 2023).

Contudo, devido à falta de dados de colisão comparáveis aos da indústria automotiva, métodos de engenharia auxiliados por computador são necessários para simular cenários de colisão. Além disso, é crucial considerar aspectos econômicos, especialmente metas de peso e custo, para desenvolver uma abordagem de segurança integrada realista. Recomenda-se uma abordagem holística

e integral da questão, combinando aspectos de sua forma ativa e passiva para aproveitar os efeitos de sinergia entre as duas indústrias (Laarmann; et al, 2023).

Por fim, a cibersegurança é uma preocupação crescente, pois o uso de sistemas digitais avançados e conexões de rede torna as aeronaves UAM vulneráveis a ataques cibernéticos, ujp podem comprometer a operação e a segurança de aeronaves autônomas ou remotamente operadas. Soluções para garantir a integridade desses sistemas incluem a implementação de protocolos de segurança cibernética rigorosos e a criação de um sistema redundante que minimize os riscos de falha (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

4.1.6 Aceitação do Público

A aceitação do público é fundamental para o sucesso da UAM, mas o ruído e as preocupações com segurança podem gerar resistência nas comunidades locais. Para enfrentar essa questão, estratégias de engajamento e educação comunitária podem ajudar a sensibilizar o público sobre os benefícios da UAM, como redução do trânsito terrestre e criação de novas oportunidades econômicas. Além disso, o investimento em tecnologias para reduzir o ruído das aeronaves é crucial, uma vez que o impacto sonoro pode ser um dos principais motivos de resistência (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

O desenvolvimento de tecnologias de propulsão elétrica e rotas otimizadas visa reduzir esses impactos e criar uma operação mais sustentável e silenciosa. Medidas para diminuir o impacto ambiental, como a utilização de materiais mais sustentáveis e a aplicação de estratégias de compensação de carbono, também podem aumentar a aceitação da UAM em comunidades urbanas (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Para promover essa aceitação, associações como a *Community Air Mobility Initiative* (CAMI) e o Consórcio de Mobilidade Aérea do Canadá (CAAM) foram criadas para educar o público e engajar tomadores de decisão. A interação contínua com a comunidade e o desenvolvimento de políticas públicas são necessários para enfrentar as preocupações e aumentar a aceitação da UAM (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

No entanto, embora a ideia do eVTOL pareça uma solução para emissão de CO₂, mobilidade urbana sem congestionamento, inovação tecnológica, cidade inteligente e fonte de energia limpa, há uma grande preocupação com a segurança do

modelo, devido à capacidade das baterias e aos possíveis acidentes nas alturas, devido ao aumento da circulação de veículos aéreos (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Estudos indicam que a percepção de segurança dos consumidores melhora com características semelhantes às dos carros, como cinto de segurança, além de um design pensado neles, pensando também em conforto e ergonomia (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Segundo o artigo *Automotive Safety Approach for Future eVTOL Vehicles* (2023) publicado no CEAS *Aeronautical Journal*, a segurança dos eVTOL apresenta novos desafios devido à necessidade de competir com veículos terrestres e atender às expectativas dos clientes em termos de segurança e conforto. Diferentemente do design de aeronaves, tradicionalmente focado em aspectos técnicos, o design dos eVTOL precisa incorporar padrões elevados de segurança passiva e ergonomia, semelhantes aos encontrados na indústria automotiva. Isso inclui a implementação de testes de colisão de veículos completos, estruturas de absorção de energia, células rígidas, airbags e sistemas de assentos deformáveis.

Para que a UAM ganhe aceitação pública, o setor regulador precisa assegurar que os padrões de segurança sejam rigorosos, tanto para operações tripuladas quanto para veículos autônomos, que poderão operar em um estágio mais avançado. Incidentes com esses veículos, ainda que poucos, poderiam minar a confiança pública, tornando a segurança um fator prioritário. É fundamental, também, regulamentar as operações em diferentes condições climáticas, pois ventos fortes ou tempestades em áreas urbanas poderiam comprometer a estabilidade e segurança das aeronaves (Cohen, Shaheen e Farrar, 2021).

Além disso, o desenvolvimento de eVTOLs autônomos enfrenta desafios técnicos significativos. A eficiência energética é crucial para aumentar o tempo de voo, enquanto a segurança e confiabilidade são essenciais para garantir operações seguras. Além disso, a integração com sistemas de controle de tráfego aéreo e certificação regulatória são obstáculos complexos. Tecnologias como baterias de alta densidade, motores elétricos eficientes, sistemas de controle autônomo e sensores avançados são fundamentais para superar esses desafios (Zhou, Jin, Wu & Yang, 2024).

4.2 PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

No que tange ao desafio das baterias, a empresa Beta Technologies, também atua neste ramo, além de desenvolver seu próprio modelo de eVTOL. Suas baterias prometem trazer um projeto potente e seguro, com sistemas de detecção de superaquecimento e ventilação de exaustão de emergência (Beta, 2025b). Inclusive, estabeleceu uma parceria com a EVE Air Mobility para desenvolver motores elétricos para suas aeronaves e se dedicar à pesquisas por avanços na propulsão elétrica (EVE Air Mobility, 2025b).

Afora sendo referência no campo de eletrificação da matriz energética em veículos aéreos, a firma também atua na infraestrutura de recarga, com estações universais, tanto para carros, quanto para aeronaves, presentes em mais de 50 cidades norte americanas. Contando, ainda, com serviços de monitoramento e agendamento estratégico das recargas de energia (Beta Technologies, 2025a). A outra startup, Archer, já firmou uma colaboração com a Beta para compartilhar de suas estações de carregamento (Archer, 2023).

Quanto aos vertiportos, embora estejam em estágio ainda inicial, observa-se diversas parcerias para esta nova estrutura destinada aos carros voadores. O primeiro plataforma deste modelo está em construção pela Dubai Road and Transport Authority e pela Skyports, parceiras da Joby, e com planos para erguer mais 3 unidades (Joby Aviation, 2025b).

Ademais, Joby Aviation e SkyDrive (Japão) foram selecionadas pelo Governo de Tokyo para um estudo de caso visando identificar pontos estratégicos para a construção de vertipotos, com implementação prevista para 2028, aprimorando o ecossistema urbano da região. O projeto busca otimizar a infraestrutura para receber os carros voadores (SkyDrive, 2025).

Já na atuação de suporte das operações no âmbito digital, a Volocopter, introduz o VololQ, sistema de Inteligência Artificial para gerir e otimizar o tráfego aéreo. Contribuindo para a integração suave entre os modelos de transporte 2D (terrestres) e 3D (terrestre + aéreo). Além de coletar informações operacionais em tempo real para viabilizar a autonomia de seus veículos no futuro (Volocopter, 2025). Uma vez que, devido ao avanço da IoF, o transporte urbano está se tornando cada vez mais inteligente, eficiente e seguro, com sistemas de monitoramento e análise de dados instantânea (Yan; Wang; Qu, 2024).

A EVE Air Mobility, por sua vez, muito além dos carros voadores, se aproveita do conhecimento e experiência da Embraer para oferecer um portfólio completo de serviços e suporte, o pacote Manutenção, Reparo e Operações (MRO); integração de dados; treinamento; serviços voltados às baterias; e material de reparo. A empresa já possui 14 cliente para este combinado, que representam cerca de 41% de seu backlog de eVTOLs (EVE Air Mobility, 2025c).

A startup está avançando, ainda, no desenvolvimento do Vector, um software de gestão de tráfego aéreo urbano, visando potencializar a segurança das operações. A solução foi testada no final de 2024 em conjunto com a Revo e já acumulou 21 clientes (EVE Air Mobility, 2025a).

Além de pedido firme de 50 unidades do EVE-100, a Revo também adquiriu o pacote de serviços e o Vector. Já a Helicopter Inc., também negociou o portfólio de MRO, além do software de gestão de tráfego, junto à uma carta de intenção para 50 eVTOLs, com o objetivo de ligar o Vertiporto de Chicago a dois helipontos da cidade (EVE Air Mobility, 2025a).

A fabricante de carros voadores também conduz um estudo, para otimizar a infraestrutura de vertiportos, dentro dos regulamentos publicados pela ANAC. A pesquisa é realizada com participação da VertiMob e da PRS Aeroportos (EVE Air Mobility, 2025a).

O artigo científico *Forecasting market opportunities for urban and regional air mobility*, publicado na revista *Technological Forecasting & Social Change* por Raj Bridgelall (2023), propõe uma metodologia híbrida para previsão de demanda no mercado de Mobilidade Aérea Avançada (AAM), com foco especial no caso de uso Uber Elevate. A ideia central é melhorar a precisão das previsões sobre onde a demanda inicial por táxis aéreos elétricos (eVTOLs) será maior, considerando um cenário ainda incipiente em que não existe um mercado comercial estabelecido para esses serviços.

A metodologia do autor combina abordagens *top-down* e *bottom-up*. No primeiro aspecto, o modelo projeta a população das cidades dos EUA para o ano de 2030 e vincula essas projeções com dados estatísticos de uso de transporte por aplicativo, com base no comportamento de usuários da Uber. Já o segundo, utiliza sistemas de informações geográficas (GIS) e algoritmos de “*trimming* de redes” para identificar 2083 rotas viáveis entre 859 cidades, com distâncias categorizadas em

quatro faixas (100, 200, 300 e 400 milhas), alinhadas ao *roadmap* tecnológico dos eVTOLs (Bridgelall, 2023).

O *forecast* de mercado estima que até 78 mil passageiros poderão ser transportados por dia nessas rotas, utilizando cerca de 3023 aeronaves e até 4214 vertiportos. As regiões com maior densidade de demanda prevista são Nova York, Califórnia e Texas. Rotas de até 100 milhas concentram mais volume de passageiros, porém exigem investimentos iniciais significativamente maiores, com duas vezes mais aeronaves e cinco vezes mais vertiportos do que rotas mais longas (Bridgelall, 2023).

Do ponto de vista de marketing e decisões estratégicas, o estudo demonstra que as rotas de curta distância (até 100 milhas) são atraentes pelo volume de passageiros, mas representam um maior custo de entrada e menor utilização das aeronaves em horas/ano. Por outro lado, rotas mais longas (300 a 400 milhas) apresentam maior eficiência operacional e melhor utilização de frota, além de representarem maior geração de receita por milha de viagem. O autor sugere, inclusive, a adoção de uma estrutura tarifária mista: valor fixo para rotas curtas e precificação por milha para trajetos maiores (Bridgelall, 2023).

Os ganhos em economia de tempo também foram significativos. Estima-se que, ao substituir o transporte terrestre tradicional, os eVTOLs poderiam gerar um total de até 10 anos-pessoa economizados por dia, considerando o conjunto das rotas analisadas. Essa economia reforça o valor potencial percebido pelo consumidor, agregando mais argumentos para adoção do serviço (Bridgelall, 2023).

Enquanto os grandes *players* desta nova segmentação se desenvolvem, constroem parcerias entre si, com os órgãos reguladores e com os governos, diversos projetos trazem a tona a perspectiva econômica deste mercado emergente.

O estudo “*The Future of Vertical Mobility*”, conduzido pela *Porsche Consulting* (2018) em parceria com o Centro Aeroespacial Alemão, apresenta uma análise abrangente sobre o potencial de mercado das aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical (eVTOLs).

O trabalho utilizou uma metodologia combinando entrevistas com 62 especialistas internacionais dos setores aeroespacial, automotivo e tecnológico, além de modelagem de mercado baseada em padrões atuais de mobilidade urbana. A análise foi estruturada em quatro pilares: tecnologia, regulação, aceitação social e

infraestrutura. O foco esteve em aplicações civis de aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical (eVTOLs), excluindo usos militares.

A pesquisa projeta que, até 2035, o mercado global de mobilidade vertical poderá atingir um valor estimado de US\$ 74 bilhões, distribuído entre quatro segmentos principais: inspeção com drones, representando US\$ 34 bilhões; transporte de passageiros com eVTOLs, US\$ 32 bilhões; transporte de mercadorias, US\$ 4 bilhões; e serviços de suporte também US\$ 4 bilhões (*Porsche Consulting*, 2018).

O segmento de transporte de passageiros com eVTOLs é considerado o mais promissor em termos de inovação e impacto urbano. A previsão é que a operação comercial destas aeronaves se inicie por volta de 2025, com crescimento acelerado nas décadas seguintes. Estima-se que, até 2035, cerca de 23 mil eVTOLs estejam em operação, com um crescimento anual composto de aproximadamente 35%. Este mercado é subdividido em dois tipos de operação: *intracity* (dentro das cidades), com potencial de US\$ 21 bilhões, e *city-to-city* (entre cidades), com projeção de US\$ 11 bilhões (*Porsche Consulting*, 2018).

Geograficamente, espera-se que a região da Ásia-Pacífico represente 45% do mercado global, seguida pelas Américas (30%) e Europa e demais regiões (25%). O estudo também apresenta três cenários de evolução para o mercado de passageiros: conservador, com 3 mil aeronaves e US\$ 4 bilhões; base, com 15 mil aeronaves e US\$ 21 bilhões; e progressivo, com 43 mil aeronaves e US\$ 58 bilhões (*Porsche Consulting*, 2018).

Já segundo o estudo da Morgan Stanley (2021), o mercado global de UAM ressalta um potencial de crescimento significativo, mas com estimativas que variam de US\$ 1 trilhão até 2040, podendo atingir até US\$ 9 trilhões em 2050, dependendo da velocidade de adoção tecnológica, regulamentação e infraestrutura. A evolução do mercado é projetada em três fases distintas: curto prazo (2020–2025): foco em pesquisa e desenvolvimento, certificações regulatórias e testes operacionais; médio prazo (2025–2035): início da operação comercial em rotas urbanas específicas, com veículos ainda tripulados; e longo prazo (2035–2050): integração plena dos eVTOLs às redes de mobilidade urbana, com operação autônoma em larga escala.

Diversos fatores são apontados como catalisadores desse crescimento, incluindo os avanços em tecnologias de propulsão elétrica e baterias, a redução de

custos operacionais proporcionada pela autonomia dos veículos, o aumento do congestionamento urbano e a demanda por soluções sustentáveis. Além disso, há um movimento crescente de investimentos em infraestrutura de suporte, como vertiportos e sistemas de integração multimodal (Morgan Stanley, 2021).

Empresas como Joby Aviation, Archer, Vertical Aerospace, e EHang são destacadas como protagonistas no desenvolvimento de eVTOLs, muitas delas contando com parcerias estratégicas com grandes corporações como Toyota, Hyundai, Boeing e Uber Elevate (Morgan Stanley, 2021).

Segundo estudos da McKinsey & Company (2022), a expectativa é de um futuro promissor para os carros voadores, os investimentos em mobilidade aérea urbana avançada chegaram a 7 bilhões de dólares em 2021, com grande foco nos eVTOL. Espera-se que até 2030 este modelo represente um meio de transporte sustentável e acessível, realizando aproximadamente 20.000 voos por dia, com duração média de 18 minutos, e transportando 70.000 passageiros, contando com 4.500 pilotos.

O mercado eVTOLs apresenta uma perspectiva promissora para os próximos anos, com projeções que indicam um crescimento significativo até 2035. O mercado norte-americano de mobilidade aérea avançada poderá atingir US\$ 115 bilhões anuais, sendo aproximadamente US\$ 57 bilhões destinados à mobilidade de passageiros e US\$ 58 bilhões à mobilidade de carga. Além do impacto econômico direto, estima-se a criação de cerca de 280 mil empregos qualificados, dos quais 234 mil atenderiam à demanda doméstica e 46 mil estariam voltados à exportação. A arrecadação fiscal também será expressiva, com uma contribuição de US\$ 8 bilhões em impostos federais, estaduais e locais (Deloitte Insights, 2022).

A adoção dos eVTOLs ocorrerá de forma gradual, com operações iniciais previstas para 2025 em algumas cidades, evoluindo para automação limitada até 2030, automação avançada em 2034 e, finalmente, automação total em escala comercial por volta de 2042. Mais de 200 empresas estão envolvidas no desenvolvimento de eVTOLs, com investimentos privados que já ultrapassam US\$ 2 bilhões. A produção em larga escala, semelhante à indústria automotiva, será essencial para viabilizar a comercialização em massa dessas aeronaves (Deloitte Insights, 2022).

No cenário internacional, os Estados Unidos enfrentam concorrência direta de países como China, Alemanha, Coreia do Sul e do Brasil. A China, por exemplo, tem avançado com a empresa EHang e conta com forte apoio regulatório. A Alemanha abriga a Volocopter. Já a Coreia do Sul estabeleceu uma estratégia nacional para mobilidade aérea urbana com metas até 2035. Diante desse contexto competitivo, torna-se urgente que os EUA adotem uma estratégia nacional coordenada, com parcerias público-privadas e políticas de incentivo à inovação, para garantir sua liderança global nesse setor emergente (Deloitte Insights, 2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo de sua trajetória, a indústria aeronáutica vivenciou diversas revoluções tecnológicas e hoje se encontra novamente em um ponto de ruptura, com a emergência dos carros voadores, sendo representados pelos veículos elétricos de decolagem e aterrissagem vertical (eVTOL). Seu caráter revolucionário se dá principalmente pelos avanços nos sistemas de armazenamento e eficiência da energética de fonte renovável, na inovação na utilização de compostos leves para a aviação, com a fibra de carbono contida em drones, e às evoluções na indústria 4.0, intensificando a conectividade inteligente, integrando IA e ferramentas de software robustas.

Combinado ao progresso técnico, a nova aeronave também se porta como uma segmentação em ascensão devido à necessidade de robustecer a infraestrutura para suas operações, ainda bem imatura, onde, de início serão aproveitadas e/ou adaptadas construções já existentes, no entanto, no longo prazo será essencial contar com estruturas próprias para realizar suas decolagens, pousos e recargas de maneira segura e dinâmica.

Assim, esta desestabilização não fica contida apenas no setor em que se deu início, mas vaza para áreas adjacentes, como por exemplo, investimentos em vertiportos serão mandatórios para o sucesso nos novos veículos aéreos, causando impacto direto no setor da construção civil. Além de que se acentua a importância de pesquisas em fontes de energia limpa, eficiente e segura para a aviação, seja por melhorias nas baterias elétricas, ou busca por outras matrizes, como o hidrogênio.

Acima de tudo, tem forte interconectividade com os serviços de transporte, uma vez que visa promover maior integração entre os modais terrestre e aéreo. Por

fim, este novo modelo de negócio também impulsiona e usufrui do segmento da inteligência artificial, seja para gestão do tráfego aéreo, ou até mesmo a incorporação de carros voadores autônomos, como é esperado para o futuro. Logo, este mercado inovador, junto com seus desafios, traz diversas possibilidades e conta com variadas fabricantes e investidores, resultando em um potencial gigantesco de crescimento dentro dos próximos anos.

Este mercado em ascensão chamou a atenção de grandes empresas, como a Porsche Consulting, um braço da grande automobilística dedicado à consultoria empresarial; McKinsey & Company, especializada em inteligência e estratégias de mercado; do grande banco Morgan Stanley; e do centro de pesquisa e revista Deloitte Insights; que realizaram estudos para entender os impactos econômicos dos carros voadores no futuro.

No entanto, devido ao caráter ainda emergente deste inovador modelo de negócio, as pesquisas não chegaram a um consenso. Mas uma coisa todas têm em comum, uma perspectiva otimista e lucrativas para o futuro, com diversas aeronaves em circulação, milhares de voos por dia, e a expectativa de que este novo segmento da indústria aeronáutica movimente bilhões, se não trilhões, de dólares nos próximos 10 a 20 anos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAM INSIGHTS. *eVTOL infrastructure: opportunities and challenges in advanced air mobility*. Disponível em: <https://www.aaminsights.com/2023/07/13/evtol-infrastructure-opportunities-and-challenges-in-advanced-air-mobility/>. Acesso em: 05 mar. 2025.

AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA DA AVIAÇÃO (EASA). **Relatório Ambiental da Aviação Europeia 2019**. Colônia: EASA, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Acordos de Aeronavegabilidade e Segurança. 2025. Disponível em <https://sistemas.anac.gov.br/certificacao/Acordos/AcordosPaisDetail.asp?AGRCodi=000130>. Acesso em: 22 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. ANAC e FAA firmam acordo de cooperação para certificação de eVTOL. 2023. Disponível em <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2023/anac-e-faa-firmam-acordo-de-cooperacao-para-certificacao-de-evtol>. Acesso em 22 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. História da Aviação. 2023. Disponível em <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/profissionais-da-aviacao-civil/pilotos/introducao-a-aviacao-civil/historia-da-aviacao>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ARCHER. Archer Aviation and BETA Technologies Collaborate to Accelerate the Adoption of an Interoperable Charging System Across the Electric Aviation Industry. 2023. Disponível em: <https://investors.archer.com/news/news-details/2023/Archer-Aviation-and-BETA-Technologies-Collaborate-to-Accelerate-the-Adoption-of-an-Interoperable-Charging-System-Across-the-Electric->

Aviation

[Industry/default.aspx#:~:text=Archer%20Aviation%20%2D%20Archer%20Aviation%20and,Across%20the%20Electric%20Aviation%20Industry](#). Acesso em: 20 nov. 2025.

BAUR, S.; et al. *Urban air mobility: the rise of a new mode of transportation*. Munich: **Roland Berger GmbH**, 2018.

BETA. Charge. 2025. Disponível em: <https://beta.team/charge>. Acesso em: 20 nov. 2025.

BETA. Energy Storage Systems. 2025. Disponível em: <https://beta.team/battery>. Acesso em: 20 nov. 2025.

BOGDAN, Marius. *Eve Urban Air Mobility: Disruptive High-Risk Technology With Huge Potential*. Seeking Alpha, [s.l.], 29 nov. 2023. Disponível em: <https://seekingalpha.com/article/4645034-eve-urban-air-mobility-disruptive-high-risk-technology-with-huge-potential>. Acesso em 31 mai 2025.

BRIDGELALL, Raj. **Forecasting market opportunities for urban and regional air mobility**. *Technological Forecasting & Social Change*, [S.l.], v. 196, p. 1–10, 2023.

COHEN, Adam P.; SHAHEEN, Susan A.; FARRAR, Emily M. Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 22, n. 9, p. 6074-6087, 2021.

DELOITTE INSIGHTS. *Advanced Air Mobility: Can the United States lead the future of flight?*. **Aerospace Industries Association**. 2022.

EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. European Commission adopts regulatory package, giving go-ahead for VTOL operations and air taxis. 2024. Disponível em <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/european-commission-adopts-regulatory-package-giving-go-ahead-vtol#:~:text=The%20European%20Commission%20has%20adopted,can%20become%20operational%20in%20Europe>. Acesso em: 19 out. 2025.

EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. Vertical Take-off and Landing (VTOL). Köln: EASA, 2019. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/vertical-take-and-landing-vtol>. Acesso em: 17 out. 2025.

EHANG. Annual Report 2020. 2021. Disponível em: <https://ir.ehang.com/static-files/64fef6ae-17f8-462b-af3b-b30897e6df7d>. Acesso em: 10 dez. 2025.

EHANG. Annual Report 2021. 2022. Disponível em: <https://ir.ehang.com/static-files/ab590c14-1fc9-4a07-8cc2-90d50044a4af>. Acesso em: 10 dez. 2025.

EHANG. Annual Report 2022. 2023. Disponível em: <https://ir.ehang.com/static-files/3896643a-6595-4f6d-8041-10e1ab8d2599>. Acesso em: 10 dez. 2025.

EHANG. Annual Report 2023. 2024. Disponível em: <https://ir.ehang.com/static-files/a5863d08-399f-4649-997d-72b9880ea582.%20>. Acesso em: 10 dez. 2025.

EHANG. Annual Report 2024. 2025. Disponível em: <https://ir.ehang.com/static-files/821db5e5-327d-4b5f-8b48-540557afcb2b>. Acesso em: 20 nov. 2025.

EHANG. EH216-S Overview. 2025. Disponível em: <https://www.ehang.com/ehang216s/>. Acesso em 20 nov. 2025.

EVE AIR MOBILITY. Fourth Quarter and FY2024 Results. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_6ae585e771c493790870400bba2d4dee/eveairmobility/db/973/8937/letter_to_shareholders/Eve_4Q24+Earnings_Release+FINAL.pdf. Acesso em: 19 nov. 2025.

EVE AIR MOBILITY. Meet EVE. 2025 Disponível em <https://www.eveairmobility.com/meet-eve/>. Acesso em 20 nov. 2025.

EVE AIR MOBILITY. Mobility Reimagined. 2025 Disponível em <https://www.eveairmobility.com/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

EVE AIR MOBILITY. Second Quarter Results. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/6ae585e771c493790870400bba2d4dee/eveairmobility/db/973/8947/letter_to_shareholders/Eve+2Q25+Earnings+Release+.pdf. Acesso em: 19 no. 2025.

EVE AIR MOBILITY. Third Quarter 2025 Results. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/6ae585e771c493790870400bba2d4dee/eveairmobility/db/973/8952/letter_to_shareholders/Eve+3Q25+Earnings+Release.pdf. Acesso em: 19 nov. 2025.

FEDERAL AVIATION AGENCY. Advanced Air Mobility | Air Taxi. 2025. Disponível em [https://www.faa.gov/air-taxi#:~:text=What%20is%20the%20FAA's%20role,National%20Airspace%20System%20\(NAS\)](https://www.faa.gov/air-taxi#:~:text=What%20is%20the%20FAA's%20role,National%20Airspace%20System%20(NAS)). Acesso em 14 out. 2025.

FERREIRA, Marcos José Barbieri; NERIS JUNIOR, Celso Pereira. Uma avaliação dos impactos da Indústria 4.0 sobre o setor aeronáutico. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 19, p. e0200019, 2020. DOI: 10.20396/rbi.v19i0.8658722. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658722>. Acesso em: 12 out. 2025.

GOMES, Sérgio Bittencourt Varella; BARAN, Renato; VITAL, Marcos Henrique Figueiredo; ARAUJO, Breno Cerqueira. Novo mercado de mobilidade aérea urbana: desenvolvimentos recentes e desafios para os eVTOLs e para o BNDES – Parte 1. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 60, p. 255-294, set. 2025.

GREPOW. *eVTOL battery vs EV battery: what is the difference?*. 2024. Disponível em: <https://www.grepow.com/blog/evtol-battery-vs-ev-battery-what-is-the-difference.html>. Acesso em: 02 out. 2025.

HEINEKE, Kersten; KLOSS, Benedikt; RIEDEL, Robin. Up, up, and away: The future of air mobility. McKinsey & Company, 26 maio 2023. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/quarterly/the-five-fifty/up-up-and-away-the-future-of-air-mobility#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.mckinsey.com%2Fquarterly%2Fthe,100>. Acesso em 27 mai. 2025.

ICAO. About ICAO. 2025. Disponível em: <https://www.icao.int/about-icao>. Acesso em: 22 set. 2025.

JOBY AVIATION. Joby Reports Record Certification Progress and Delivery of Second Aircraft to US Air Force at Edwards Air Force Base. 2025. Disponível em: <https://www.jobyaviation.com/news/joby-reports-record-certification-progress-delivery-second-aircraft-edwards/>. Acesso em: 17 out. 2025.

JOBY AVIATION. Our Story. 2025. Disponível em: <https://www.jobyaviation.com/about/>. Acesso em 21 nov. 2025.

JOBY AVIATION. Shareholder Letter Q2 2025. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/2eff6e23800cecb34491506df1c4538/jobaviation/db/1111/9867/file/Joby+Aviation+2025-Q2-Report_080625+High+Res.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

JOBY AVIATION. Shareholder Letter Q3 2025. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/2eff6e23800cecb34491506df1c4538/jobaviation/db/1086/9874/pdf/Joby+2025-Q3-Shareholder+Letter_110525.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

JOBY AVIATION. Shareholder Letter Q4 2024. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_2eff6e23800cecb34491506df1c4538/jobyaviation/db/1111/9851/file/Joby-Aviation_2024-Q4-Shareholder-Letter.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

Laarmann, L., Thoma, A., Misch, P. et al. Automotive safety approach for future eVTOL vehicles. **CEAS Aeronaut J** 14, 369–379 (2023). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13272-023-00655-0>. Acesso em: 23 out. 2025.

MACHADO, Juliana. Francisco Gomes Neto, CEO da Embraer: carro voador irá decolar em 2024. *Veja*, São Paulo, 31 maio 2024. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/francisco-gomes-neto-ceo-da-embraer-carro-voador-ira-decolar-em-2024>. Acesso em 01 jun. 2025.

MORGAN STANLEY. **Investment Implications of Autonomous Urban Air Mobility**. New York: Morgan Stanley Research, 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Agenda 2030 Para o Desenvolvimento Sustentável**, 15 set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 10 abr. 2025.

PEREZ, Carlota. *Technological Revolutions and Techno-economic Paradigms*. **Cambridge Journal of Economics**, Volume 34, Issue 1, January 2010, Pages 185–202. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/cje/bep051>. Acesso em: 17 out. 2025.

PORSCHE CONSULTING. **The future of vertical mobility: a Porsche Consulting study**. Stuttgart: Porsche Consulting GmbH, 2018.

SACONI, Lucas. Carros voadores eVTOL: Eve, Embraer, Boeing, Airbus, Lilium. UOL, São Paulo, 29 ago. 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/todos-a-bordo/2021/08/29/carros-voadores-evtol-eve-embraer-boeing-airbus-lilium-saconi.html>. Acesso em 25 maio 2025.

SCHEFFER Marten. *Future of the human climate niche - Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS*. 2019.

SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Tradução de Raymundo Magalhães Júnior. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.

SKYDRIVE. Tokyo Metropolitan Government Selects Multi-Use Case Implementation Project Featuring SkyDrive and Joby Aviation Aircraft for “eVTOL Implementation Project (Phase I)”. 2025. Disponível em: <https://en.skydrive2020.com/archives/16978>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SMG CONSULTING LLC. **AAM Reality Index**, 2025. Disponível em: <https://aamrealityindex.com/aam-reality-index>. Acesso em: 10 nov. 2025.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please!*. Nairobi: UNEP, 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2024>. Acesso em: 14 abril 2025.

VELAZ-ACERA, Néstor; ÁLVAREZ-GARCÍA, Javier; BERGE-DIEZ, David. *Economic and emission reduction benefits of the implementation of eVTOL aircraft with bi-directional flow as storage systems in islands and case study for Canary Islands*. **Applied Energy**, v. 331, p. 120409, 2023.

VOLOCOPTER. *VoLoIQ Behind the Scenes Support*. 2025. Disponível em: <https://www.volocopter.com/en/solutions/voloiq>. Acesso em: 20 nov. 2025.

WEISS, Stanley I.; AMIR, Amir R.. "indústria aeroespacial". **Enciclopédia Britânica**, 2025. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/aerospace-industry/History>. Acesso em: 21 nov. 2025.

YAN, Yiping; WANG, Kai; QU, Xiaobo. *Urban air mobility (UAM) and ground transportation integration: A survey*. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S. l.], v. 151, 104187, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42524-024-0298-0>. Acesso em: 14 abr. 2025.

ZHOU, Y., Jin, J., Wu, Q., & Yang. *Autonomous eVTOL: A summary of researches and challenges*. **Green Energy and Intelligent Transportation**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geits.2023.100140>. Acesso em: 23 mar. 2025.